

ASTRONOMIE DE POSITION

I. Théorie

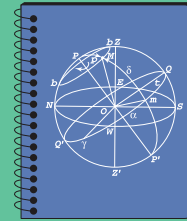
Louis CAMPION

Ce fascicule a pour objet de présenter les éléments de base de la cosmographie pour permettre de localiser dans le ciel les objets remarquables que veut observer un astronome sans aide extérieure. En complément, le problème inverse sera aussi traité, à savoir en observant un astre -dans le ciel, pouvoir déterminer où il se trouve lui-même à la surface de la Terre.



SOCIÉTÉ
d'ASTRONOMIE
de NANTES

Société Scientifique d'Éducation Populaire agréée Jeunesse et Sports
35, boulevard Louis Millet - 44300 NANTES - Tél. 02 40 68 91 20 - Fax 02 40 93 81 23
Internet : www.san.asso.fr - E-mail : san@san-fr.com



N° 9

ASTRONOMIE DE POSITION

I. Théorie

Louis CAMPION



Les Cahiers de la SAN

ASTRONOMIE DE POSITION

par L.CAMPION Capitaine au Long Cours

Le sujet que je vais avoir à traiter est vaste, il demandera de nombreux exposés; mais si variés et si divers qu'il vous séduira. (Je ferai tout pour cela)

Je sais bien que lorsque l'on aborde l'astronomie, on rêve galaxies, trous noirs, pulsars etc... mais il faut aussi penser aux éléments de cosmographie qui permettront de situer dans le ciel tous ces points remarquables, en fonction de la saison, du jour et de l'heure.

A quoi vous serviraient une belle lunette, une bonne connaissance du phénomène à observer, un zèle astronomique à toute épreuve, si vous ne savez pas quand et dans quelle direction pointer votre lunette, ou bien, honte suprême, si vous êtes obligé de faire appel à une revue spécialisée ou à un collègue averti pour pouvoir observer un astre ou un événement astronomique quelconque.

Mon propos sera de vous amener (je l'espère) à pouvoir déterminer l'endroit exact du ciel où se trouve tel astre ou curiosité céleste, afin de pouvoir seul, quand vous le voudrez, l'observer à loisir.

Par extension ou par complémentarité, j'aimerais aider le navigateur en herbe à saisir le problème inverse : observant un astre dans le ciel, pouvoir déterminer où il se trouve lui-même sur la surface terrestre.

Ne soyez surtout pas impressionnés par les termes utilisés, ils vous deviendront vite familiers.

Que les problèmes de trigonométrie sphérique et les différentes coordonnées ne vous épouvantent pas trop, Je m'efforcerai d'être simple et de n'exposer que l'essentiel.

Mon souhait est que cela vous devienne familier et que vous preniez plaisir à effectuer des calculs astronomiques.

ASTRONOMIE DE POSITION

SOMMAIRE

	Pages
ELEMENTS DE GEOMETRIE SPHERIQUE	1
Intersection d'une sphère et d'un plan	1
Pôles d'un cercle	1
Angle de deux cercles	2
Coordonnées sphériques	2
Triangle sphérique	4
Résolution des triangles sphériques	4
ELEMENTS DE TRIGONOMETRIE SPHERIQUE	5
Formule fondamentale	5
Analogie des sinus	6
Formule des cotangentes	6
LE REPERAGE DES ASTRES, LES DIVERS SYSTEMES DE COORDONNEES	7
Coordonnées géographiques	8
La sphère locale	9
coordonnées horizontales	11
coordonnées horaires	15
La sphère céleste	18
coordonnées équatoriales	19
coordonnées écliptiques	23
LES TROIS SPHERES DE REFERENCE REUNIES EN UNE SEULE, RELATIONS ENTRE LES COORDONNEES DE DIFFERENTS SYSTEMES	25
Sphère unique	27
Le triangle de position	32
Formules simplifiées	35
cas du passage au méridien supérieur du lieu	36
cas du lever et du coucher	38
UTILISATION DES EPHEMERIDES	42
Les éphémérides astronomiques	43
Les éphémérides nautiques	45
L'almanach du marin breton	45
Ephémérides astrologiques diverses	46
Tables permanentes	51
table du point vernal	51
table des étoiles	51
table solaire permanente N° 1	52
table solaire permanente N° 2	54
Les programmes pour micro-ordinateurs ou calculettes	55

ANNEXES

ELEMENTS DE GEOMETRIE SPHERIQUE

La sphère est le lieu géométrique des points situés à une distance donnée R d'un point donné O . Le point O est le centre de la sphère, la distance R est son rayon.

INTERSECTION D'UNE SPHERE ET D'UN PLAN

L'intersection d'une sphère et d'un plan est une circonférence.

Si le plan sécant passe par le centre de la sphère, cette circonférence est un grand cercle de la sphère, de centre O et de rayon R égal à celui de la sphère.

Si le plan sécant ne passe pas par le centre de la sphère, cette circonférence est un petit cercle de la sphère; son rayon r est plus petit que le rayon R de la sphère.

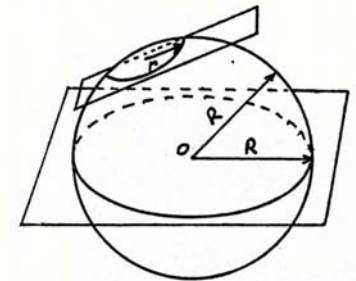


Fig. 1

POLES D'UN CERCLE

On appelle pôles d'un cercle les extrémités du diamètre de la sphère qui est perpendiculaire au plan de ce cercle:

Soit P et P' les 2 pôles d'un cercle c ; le diamètre PP' est sa ligne des pôles.

Il est évident que sur une même sphère, tous les cercles parallèles ont les mêmes pôles.

Les pôles d'un grand cercle C ont la propriété d'être les deux points de la sphère équidistants de tous les points de ce grand cercle; leur distance angulaire au grand cercle est égale à $\frac{\pi}{2}$

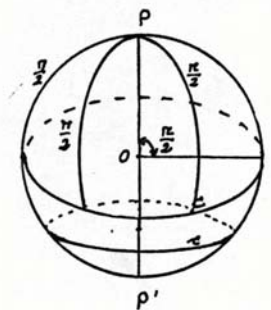


Fig. 2

ANGLE DE DEUX CERCLES

L'angle de deux cercles peut se définir de différentes façons:

- c'est l'angle que font entre elles les tangentes T1 et T2 à ces deux grands cercles en l'un de leurs points d'intersection;

- c'est aussi l'angle dièdre que font entre eux les plans de ces deux grands cercles.

Il a même mesure que l'arc de grand cercle qui joint leurs pôles respectifs P1 et P2

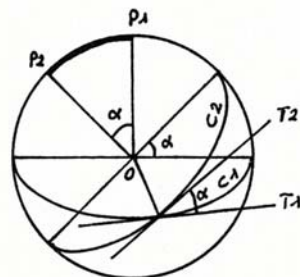


Fig. 3

COORDONNEES SPHERIQUES

La position d'un point à la surface d'une sphère se détermine au moyen de coordonnées sphériques.

1 * Tout système de coordonnées sphériques est établi à partir d'un grand cercle, dit cercle fondamental, sur lequel on choisit une origine M et un sens de parcours.

Ce cercle divise la sphère en 2 parties égales, que l'on appelle hémisphères; chaque hémisphère contient l'un des pôles du cercle fondamental.

Les deux pôles P et P' du cercle fondamental se trouvent aux 2 extrémités du diamètre qui est perpendiculaire au plan de ce cercle.

L'un de ces pôles est pris comme pôle de référence ou pôle positif; le pôle opposé est le pôle négatif.

2 * Si nous imaginons un observateur placé suivant la ligne des pôles, la tête dans la direction du pôle de référence (P sur la figure 4), sur tous les cercles

CONVERSION DES HEURES, MINUTES ET SECONDES EN DEGRÉS, MINUTES ET SECONDES

Heures A		Minutes B		Secondes C		Centièmes de seconde			
0 ^h	0 ^m	0 ^m	0 ^m 0 ^s	0 ^s	0 ^s 0 ^m	0 ^o 00	0 ^o 00	0 ^o 50	7 ^o 50
1	15	1	0 15	1	0 15	0,01	0,15	0,51	7,65
2	30	2	0 30	2	0 30	0,02	0,30	0,52	7,80
3	45	3	0 45	3	0 45	0,03	0,45	0,53	7,95
4	60	4	1 0	4	1 0	0,04	0,60	0,54	8,10
5	75	5	1 15	5	1 15	0,05	0,75	0,55	8,25
6	90	6	1 30	6	1 30	0,06	0,90	0,56	8,40
7	105	7	1 45	7	1 45	0,07	1,05	0,57	8,55
8	120	8	2 0	8	2 0	0,08	1,20	0,58	8,70
9	135	9	2 15	9	2 15	0,09	1,35	0,59	8,85
10	150	10	2 30	10	2 30	0,10	1,50	0,60	9,00
11	165	11	2 45	11	2 45	0,11	1,65	0,61	9,15
12	180	12	3 0	12	3 0	0,12	1,80	0,62	9,30
13	195	13	3 15	13	3 15	0,13	1,95	0,63	9,45
14	210	14	3 30	14	3 30	0,14	2,10	0,64	9,60
15	225	15	3 45	15	3 45	0,15	2,25	0,65	9,75
16	240	16	4 0	16	4 0	0,16	2,40	0,66	9,90
17	255	17	4 15	17	4 15	0,17	2,55	0,67	10,05
18	270	18	4 30	18	4 30	0,18	2,70	0,68	10,20
19	285	19	4 45	19	4 45	0,19	2,85	0,69	10,35
20	300	20	5 0	20	5 0	0,20	3,00	0,70	10,50
21	315	21	5 15	21	5 15	0,21	3,15	0,71	10,65
22	330	22	5 30	22	5 30	0,22	3,30	0,72	10,80
23	345	23	5 45	23	5 45	0,23	3,45	0,73	10,95
24	360	24	6 0	24	6 0	0,24	3,60	0,74	11,10
		25	6 15	25	6 15	0,25	3,75	0,75	11,25
		26	6 30	26	6 30	0,26	3,90	0,76	11,40
		27	6 45	27	6 45	0,27	4,05	0,77	11,55
		28	7 0	28	7 0	0,28	4,20	0,78	11,70
		29	7 15	29	7 15	0,29	4,35	0,79	11,85
		30	7 30	30	7 30	0,30	4,50	0,80	12,00
		31	7 45	31	7 45	0,31	4,65	0,81	12,15
		32	8 0	32	8 0	0,32	4,80	0,82	12,30
		33	8 15	33	8 15	0,33	4,95	0,83	12,45
		34	8 30	34	8 30	0,34	5,10	0,84	12,60
		35	8 45	35	8 45	0,35	5,25	0,85	12,75
		36	9 0	36	9 0	0,36	5,40	0,86	12,90
		37	9 15	37	9 15	0,37	5,55	0,87	13,05
		38	9 30	38	9 30	0,38	5,70	0,88	13,20
		39	9 45	39	9 45	0,39	5,85	0,89	13,35
		40	10 0	40	10 0	0,40	6,00	0,90	13,50
		41	10 15	41	10 15	0,41	6,15	0,91	13,65
		42	10 30	42	10 30	0,42	6,30	0,92	13,80
		43	10 45	43	10 45	0,43	6,45	0,93	13,95
		44	11 0	44	11 0	0,44	6,60	0,94	14,10
		45	11 15	45	11 15	0,45	6,75	0,95	14,25
		46	11 30	46	11 30	0,46	6,90	0,96	14,40
		47	11 45	47	11 45	0,47	7,05	0,97	14,55
		48	12 0	48	12 0	0,48	7,20	0,98	14,70
		49	12 15	49	12 15	0,49	7,35	0,99	14,85
		50	12 30	50	12 30	0,50	7,50	1,00	15,00
		51	12 45	51	12 45				
		52	13 0	52	13 0				
		53	13 15	53	13 15				
		54	13 30	54	13 30				
		55	13 45	55	13 45				
		56	14 0	56	14 0				
		57	14 15	57	14 15				
		58	14 30	58	14 30				
		59	14 45	59	14 45				
		60	15 0	60	15 0				

CONVERSION DES DEGRÉS, MINUTES ET SECONDES
EN HEURES, MINUTES ET SECONDES

Degrés				Minutes		Secondes		Dixièmes de seconde	
0°	0 ^h 0 ^m	60°	4 ^h 0 ^m	0'	0 ^m 0 ^s	0"	0,000	0,0	0,000
1	0 4	61	4 4	1	0 4	1	0,067	0,1	0,007
2	0 8	62	4 8	2	0 8	2	0,133	0,2	0,013
3	0 12	63	4 12	3	0 12	3	0,200	0,3	0,020
4	0 16	64	4 16	4	0 16	4	0,267	0,4	0,027
5	0 20	65	4 20	5	0 20	5	0,333	0,5	0,033
6	0 24	66	4 24	6	0 24	6	0,400	0,6	0,040
7	0 28	67	4 28	7	0 28	7	0,467	0,7	0,047
8	0 32	68	4 32	8	0 32	8	0,533	0,8	0,053
9	0 36	69	4 36	9	0 36	9	0,600	0,9	0,060
10	0 40	70	4 40	10	0 40	10	0,667	1,0	0,067
11	0 44	71	4 44	11	0 44	11	0,733		
12	0 48	72	4 48	12	0 48	12	0,800		
13	0 52	73	4 52	13	0 52	13	0,867		
14	0 56	74	4 56	14	0 56	14	0,933		
15	1 0	75	5 0	15	1 0	15	1,000		
16	1 4	76	5 4	16	1 4	16	1,067		
17	1 8	77	5 8	17	1 8	17	1,133		
18	1 12	78	5 12	18	1 12	18	1,200		
19	1 16	79	5 16	19	1 16	19	1,267		
20	1 20	80	5 20	20	1 20	20	1,333		
21	1 24	81	5 24	21	1 24	21	1,400		
22	1 28	82	5 28	22	1 28	22	1,467		
23	1 32	83	5 32	23	1 32	23	1,533		
24	1 36	84	5 36	24	1 36	24	1,600		
25	1 40	85	5 40	25	1 40	25	1,667		
26	1 44	86	5 44	26	1 44	26	1,733		
27	1 48	87	5 48	27	1 48	27	1,800		
28	1 52	88	5 52	28	1 52	28	1,867		
29	1 56	89	5 56	29	1 56	29	1,933		
30	2 0	90	6 0	30	2 0	30	2,000		
31	2 4	91	6 4	31	2 4	31	2,067		
32	2 8	92	6 8	32	2 8	32	2,133		
33	2 12	93	6 12	33	2 12	33	2,200		
34	2 16	94	6 16	34	2 16	34	2,267		
35	2 20	95	6 20	35	2 20	35	2,333		
36	2 24	96	6 24	36	2 24	36	2,400		
37	2 28	97	6 28	37	2 28	37	2,467		
38	2 32	98	6 32	38	2 32	38	2,533		
39	2 36	99	6 36	39	2 36	39	2,600		
40	2 40	100	6 40	40	2 40	40	2,667		
41	2 44	200	13 20	41	2 44	41	2,733		
42	2 48	300	20 0	42	2 48	42	2,800		
43	2 52			43	2 52	43	2,867		
44	2 56			44	2 56	44	2,933		
45	3 0			45	3 0	45	3,000		
46	3 4			46	3 4	46	3,067		
47	3 8			47	3 8	47	3,133		
48	3 12			48	3 12	48	3,200		
49	3 16			49	3 16	49	3,267		
50	3 20			50	3 20	50	3,333		
51	3 24			51	3 24	51	3,400		
52	3 28			52	3 28	52	3,467		
53	3 32			53	3 32	53	3,533		
54	3 36			54	3 36	54	3,600		
55	3 40			55	3 40	55	3,667		
56	3 44			56	3 44	56	3,733		
57	3 48			57	3 48	57	3,800		
58	3 52			58	3 52	58	3,867		
59	3 56			59	3 56	59	3,933		
60	4 0			60	4 0	60	4,000		

perpendiculaires à la ligne des pôles:

- le sens de parcours est dit direct ou trigonométrique lorsqu'il est inverse du sens du mouvement des aiguilles d'une montre;

- le sens de parcours est dit rétrograde lorsqu'il est le même que le sens du mouvement des aiguilles d'une montre.

Inversement, si l'un des sens de parcours - direct ou rétrograde - est fixé sur un cercle de la sphère, les signes des pôles de ce cercle sont fixés ipso facto.

3° Soit C le cercle fondamental, P son pôle positif, M l'origine, et supposons que le sens direct soit choisi comme sens de parcours. (Fig.4)

Nous nous proposons de déterminer les coordonnées sphériques d'un point A de la sphère.

Traçons le 1/2 grand cercle qui contient l'axe des pôles et le point A; il coupe le cercle fondamental suivant Oa.

Les coordonnées sphériques du point A sont alors:

1° l'arc $Ma = \alpha$, compté de 0 à 2π , ou de 0 à 24 heures, ou de 0 à 360° .

2° l'arc $aA = \beta$, plus petit que $\frac{\pi}{2}$, toujours mesuré de 0 à 90° , affecté du signe + ou du signe - suivant qu'il est compté vers le pôle positif ou vers le pôle négatif.

Ces deux coordonnées sphériques suffisent à définir la position du point A sur la sphère;

inversement, à ces deux coordonnées correspond un point de la sphère et un seul.

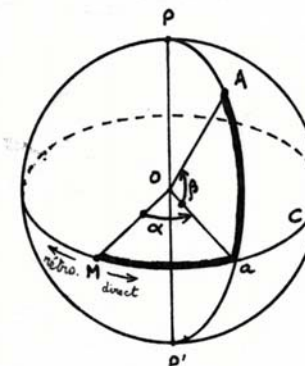
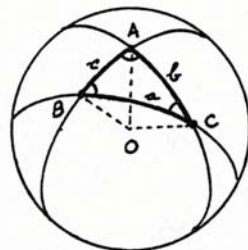


Fig. 4

TRIANGLE SPHERIQUE

Un triangle sphérique est la figure formée sur la sphère par trois arcs de grand cercle, AB, BC, CA, chacun d'eux étant inférieur à une demi-circonférence.

Ces arcs sont les côtés du triangle sphérique; ils correspondent respectivement à des angles plans AOB, BOC, COA, mesurés au centre de la sphère.



Les angles du triangle sphérique sont les angles que forment entre eux les grands cercles dont font partie les arcs; ce sont donc les angles que font entre elles les tangentes en leurs points d'intersection qui sont les sommets du triangle. Ils ont même mesure que les angles dièdres du trièdre OABC.

Nous passons sur les propriétés, les cas d'égalités, et les cas particuliers des triangles sphériques.

RESOLUTION DES TRIANGLES SPHERIQUES

Un triangle sphérique, comme un triangle plan, est déterminé quand on connaît 3 de ses éléments.

La résolution des triangles, qui est à la base de la majorité des problèmes d'Astronomie de Position et de Navigation Astronomique, se fait au moyen des formules de la Trigonométrie Sphérique.

Les 6 éléments combinés 4 à 4 donnent 15 combinaisons possibles.

Annexe F
LUNE (au 1/10^e de °)

-----POSITION OF THE MOON AT 3-12-88

GMT	AZ	EL = H	GHA	DEC
400	143.6	5.1	319.2	-28.7
500	155.3	10.1	333.5	-28.7
600	167.8	13.2	347.9	-28.6
700	180.7	14.2	2.3	-28.6
800	193.6	13	16.7	-28.6
900	206.1	9.7	31.1	-28.6
1000	217.7	4.5	45.4	-28.5

12 mars 1988

-----POSITION OF THE MOON AT 3-5-88

GMT	AZ	EL = H	GHA	DEC
0	156.7	40.2	343.9	-1.2
30	166.2	41.6	351.2	-1.3
100	176	42.3	358.5	-1.4
130	185.8	42.1	5.8	-1.6
200	195.5	41.1	13.1	-1.7
230	204.8	39.2	20.4	-1.8
300	213.4	36.7	27.7	-1.9
330	221.5	33.6	35	-1
400	229	29.9	42.3	-1.2
430	235.9	25.9	49.6	-1.3
500	242.3	21.6	56.9	-1.4
530	248.3	17	64.2	-1.5
600	254	12.2	71.5	-1.6
630	259.4	7.3	78.8	-1.8
700	264.8	2.3	86.1	-1.9
2030	102.1	4.1	283.2	-5.1
2100	107.7	8.8	290.5	-5.3
2130	113.4	13.3	297.8	-5.4
2200	119.5	17.7	305.1	-5.5
2230	125.9	21.8	312.4	-5.6
2300	132.7	25.5	319.7	-5.7
2330	139.9	28.8	327	-5.9
2400	147.7	31.6	334.3	-6

5 mars 88

3/12/1988 0:0 GMT

PLANET	RA HMS	DEC DMS
MERCURY	21 49 16	S 14 23 50
VENUS	2 13 17	N 15 1 53
SUN	23 29 16	S 3 19 8
MARS	18 53 49	S 23 20 49
JUPITER	1 56 8	N 10 48 53
SATURN	18 5 45	S 22 18 1
URANUS	18 2 43	S 23 37 49
NEPTUNE	18 41 43	S 22 7 39
PLUTO	14 52 27	N 0 49 35

3/12/1988 1:0 GMT

PLANET	RA HMS	DEC DMS
MERCURY	21 49 28	S 14 23 10
VENUS	2 13 28	N 15 2 59
SUN	23 29 25	S 3 18 8
MARS	18 53 56	S 23 20 39
JUPITER	1 56 10	N 10 49 5
SATURN	18 5 45	S 22 18 1
URANUS	18 2 43	S 23 37 49
NEPTUNE	18 41 43	S 22 7 39
PLUTO	14 52 27	N 0 49 37

3/12/1988 2:0 GMT

PLANET	RA HMS	DEC DMS
MERCURY	21 49 40	S 14 22 29
VENUS	2 13 38	N 15 4 4
SUN	23 29 34	S 3 17 9
MARS	18 54 4	S 23 20 35
JUPITER	1 56 12	N 10 49 17
SATURN	18 5 46	S 22 18 1
URANUS	18 2 44	S 23 37 49
NEPTUNE	18 41 43	S 22 7 39
PLUTO	14 52 27	N 0 49 38

3/12/1988 3:0 GMT

PLANET	RA HMS	DEC DMS
MERCURY	21 49 51	S 14 21 48
VENUS	2 13 49	N 15 5 10
SUN	23 29 43	S 3 16 10
MARS	18 54 11	S 23 20 25
JUPITER	1 56 14	N 10 49 28
SATURN	18 5 46	S 22 18 1
URANUS	18 2 44	S 23 37 49
NEPTUNE	18 41 43	S 22 7 39
PLUTO	14 52 27	N 0 49 40

3/12/1988 4:0 GMT

PLANET	RA HMS	DEC DMS
MERCURY	21 50 3	S 14 21 7
VENUS	2 13 59	N 15 6 15
SUN	23 29 53	S 3 15 11
MARS	18 54 19	S 23 20 21
JUPITER	1 56 16	N 10 49 39
SATURN	18 5 47	S 22 18 0
URANUS	18 2 44	S 23 37 49
NEPTUNE	18 41 43	S 22 7 39
PLUTO	14 52 27	N 0 49 42

3/12/1988 5:0 GMT

PLANET	RA HMS	DEC DMS
MERCURY	21 50 15	S 14 20 31
VENUS	2 14 10	N 15 7 21
SUN	23 30 2	S 3 14 12
MARS	18 54 26	S 23 20 11
JUPITER	1 56 18	N 10 49 51
SATURN	18 5 47	S 22 18 0
URANUS	18 2 44	S 23 37 50
NEPTUNE	18 41 44	S 22 7 38
PLUTO	14 52 27	N 0 49 44

3/12/1988 6:0 GMT

PLANET	RA HMS	DEC DMS
MERCURY	21 50 27	S 14 19 50
VENUS	2 14 20	N 15 8 26
SUN	23 30 11	S 3 13 13
MARS	18 54 33	S 23 20 7
JUPITER	1 56 20	N 10 50 2
SATURN	18 5 48	S 22 18 0
URANUS	18 2 44	S 23 37 50
NEPTUNE	18 41 44	S 22 7 38
PLUTO	14 52 26	N 0 49 45

3/12/1988 7:0 GMT

PLANET	RA HMS	DEC DMS
MERCURY	21 50 38	S 14 19 8
VENUS	2 14 31	N 15 9 31
SUN	23 30 20	S 3 12 14
MARS	18 54 41	S 23 20 3
JUPITER	1 56 22	N 10 50 13
SATURN	18 5 48	S 22 18 0
URANUS	18 2 45	S 23 37 50
NEPTUNE	18 41 44	S 22 7 38
PLUTO	14 52 26	N 0 49 47

3/12/1988 8:0 GMT

PLANET	RA HMS	DEC DMS
MERCURY	21 50 50	S 14 18 26
VENUS	2 14 41	N 15 10 37
SUN	23 30 29	S 3 11 15
MARS	18 54 48	S 23 19 53
JUPITER	1 56 24	N 10 50 25
SATURN	18 5 49	S 22 18 0
URANUS	18 2 45	S 23 37 50
NEPTUNE	18 41 44	S 22 7 38
PLUTO	14 52 26	N 0 49 49

Eléments: AR et Dec du Soleil et des planètes le 12 mars 1988 de 0^h à 8^h TU
Programme APPLE IIc

Annexe F.

ELEMENTS DE TRIGONOMETRIE SPHERIQUE

Il y a 6 formules de base dans la trigonométrie sphérique. Nous n'utiliserons que les deux premières et occasionnellement une troisième.

Ces formules ont reçu les noms de :

Formule fondamentale,

Analogie des Sinus,

Formule des Cotangentes,

Dans le cas de triangles rectangles : un angle droit, et de triangles rectilatères : un côté = 90°, ces formules se simplifient, nous le découvrirons.

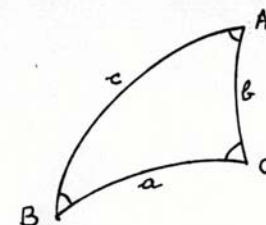
Nous ne ferons pas la démonstration de l'établissement de ces formules en partant de la trigonométrie plane et nous aidant d'axes orthogonaux et de coordonnées cartésiennes, ceci dépasse le cadre de nos exposés.

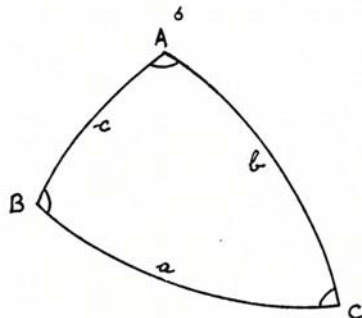
Nous vous livrerons simplement les résultats en vous demandant de bien les connaître pour pouvoir comprendre et effectuer tous les calculs que nous allons être amenés à voir.

FORMULE FONDAMENTALE

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

Par permutation circulaire on obtient : $\cos b$ et $\cos c$





ANALOGIE DES SINUS

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}$$

FORMULE DES COTANGENTES

(ou des 4 éléments consécutifs)

$$\cotg b \sin c - \cotg B \sin A = \cos c \cos A$$

Par permutation circulaire on obtient d'autres formules semblables.

On utilise l'une ou l'autre de ces formules selon le résultat cherché, car :

- 1) un angle voisin de 90° ou de 270° est mieux défini par son cosinus que par son sinus;
- 2) un angle voisin de 0° ou de 180° est mieux défini par son sinus que par son cosinus;
- 3) le calcul par la tangente est toujours précis.

$$D = D_0 + (UT + K)d$$

$$GHA = GHA_0 + (UT + K)g + (UT \times 15)$$

D_0 déclinaison à 0°UT - d variation horaire de D_0 - GHA_0 angle horaire à Greenwich à 0°UT - g variation horaire de GHA_0

JOUR	JUILLET				AOÛT				SEPTEMBRE				JOUR
	D_0	d	GHA_0	g	D_0	d	GHA_0	g	D_0	d	GHA_0	g	
1	23°16'	-0°0027	179°11'	-0°0020	18°22'	-0°0104	178°42'	0°0006	8°57'	-0°0150	179°93'	0°0033	1
2	23.10	-0.0030	179.06	-0.0020	17.97	-0.0106	178.44	0.0007	8.21	-0.0151	180.01	0.0033	2
3	23.03	-0.0033	179.01	-0.0019	17.71	-0.0108	178.45	0.0008	7.85	-0.0152	180.09	0.0034	3
4	22.95	-0.0035	178.96	-0.0019	17.45	-0.0110	178.47	0.0009	7.48	-0.0153	180.17	0.0034	4
5	22.86	-0.0039	178.92	-0.0018	17.19	-0.0112	178.49	0.0010	7.11	-0.0154	180.25	0.0035	5
6	22.77	-0.0041	178.88	-0.0018	16.92	-0.0115	178.52	0.0011	6.74	-0.0155	180.33	0.0035	6
7	22.67	-0.0044	178.83	-0.0017	16.65	-0.0116	178.54	0.0012	6.37	-0.0156	180.42	0.0035	7
8	22.57	-0.0047	178.79	-0.0017	16.37	-0.0117	178.57	0.0013	5.99	-0.0157	180.50	0.0036	8
9	22.45	-0.0049	178.75	-0.0015	16.09	-0.0119	178.60	0.0014	5.62	-0.0158	180.59	0.0036	9
10	22.34	-0.0052	178.71	-0.0014	15.80	-0.0122	178.64	0.0015	5.24	-0.0158	180.67	0.0036	10
11	22.21	-0.0055	178.68	-0.0014	15.51	-0.0123	178.67	0.0016	4.86	-0.0158	180.76	0.0036	11
12	22.08	-0.0057	178.64	-0.0013	15.21	-0.0125	178.71	0.0017	4.48	-0.0159	180.85	0.0037	12
13	21.94	-0.0060	178.61	-0.0013	14.91	-0.0126	178.75	0.0018	4.10	-0.0159	180.94	0.0037	13
14	21.80	-0.0063	178.58	-0.0012	14.61	-0.0128	178.80	0.0019	3.72	-0.0160	181.02	0.0037	14
15	21.65	-0.0065	178.55	-0.0011	14.30	-0.0129	178.84	0.0020	3.34	-0.0160	181.11	0.0037	15
16	21.50	-0.0067	178.52	-0.0010	13.99	-0.0131	178.89	0.0021	2.95	-0.0160	181.20	0.0037	16
17	21.33	-0.0070	178.50	-0.0010	13.68	-0.0133	178.94	0.0022	2.57	-0.0161	181.29	0.0038	17
18	21.17	-0.0072	178.48	-0.0009	13.36	-0.0134	178.99	0.0023	2.18	-0.0161	181.38	0.0038	18
19	20.99	-0.0075	178.46	-0.0008	13.04	-0.0135	179.05	0.0024	1.79	-0.0162	181.47	0.0038	19
20	20.81	-0.0078	178.44	-0.0007	12.71	-0.0137	179.11	0.0025	1.40	-0.0162	181.56	0.0037	20
21	20.63	-0.0079	178.43	-0.0006	12.38	-0.0138	179.16	0.0026	1.02	-0.0162	181.65	0.0037	21
22	20.44	-0.0083	178.41	-0.0004	12.05	-0.0140	179.23	0.0026	0.63	-0.0162	181.74	0.0037	22
23	20.24	-0.0084	178.40	-0.0003	11.72	-0.0141	179.29	0.0027	0.24	-0.0163	181.83	0.0037	23
24	20.04	-0.0087	178.40	-0.0003	11.38	-0.0142	179.35	0.0028	-0.15	-0.0163	181.91	0.0037	24
25	19.83	-0.0089	178.39	-0.0001	11.04	-0.0143	179.42	0.0028	-0.54	-0.0163	182.00	0.0036	25
26	19.61	-0.0092	178.39	-0.0001	10.68	-0.0144	179.49	0.0029	-0.93	-0.0163	182.09	0.0036	26
27	19.39	-0.0094	178.39	0.0001	10.35	-0.0146	179.56	0.0030	-1.32	-0.0162	182.17	0.0035	27
28	19.17	-0.0096	178.39	0.0001	10.00	-0.0147	179.63	0.0030	-1.71	-0.0162	182.26	0.0035	28
29	18.94	-0.0098	178.39	0.0003	9.64	-0.0148	179.70	0.0031	-2.10	-0.0162	182.34	0.0035	29
30	18.70	-0.0100	178.40	0.0004	9.29	-0.0148	179.78	0.0032	-2.49	-0.0162	182.43	0.0035	30
31	18.46	-0.0102	178.41	0.0005	8.93	-0.0149	179.85	0.0033					31

JOUR	OCTOBRE				NOVEMBRE				DECEMBRE				JOUR
	D_0	d	GHA_0	g	D_0	d	GHA_0	g	D_0	d	GHA_0	g	
1	-2.88	-0°0162	182°51'	0°0034	-14°17'	-0°0134	184°20'	0°0003	-21°58'	-0°0066	182°83'	-0°0039	1
2	-3.27	-0.0161	182.59	0.0033	-14.50	-0.0133	184.10	0.0002	-21.84	-0.0063	182.74	-0.0040	2
3	-3.65	-0.0161	182.67	0.0033	-14.81	-0.0131	184.11	0	-21.99	-0.0060	182.64	-0.0041	3
4	-4.04	-0.0161	182.75	0.0032	-15.13	-0.0129	184.11	-0.0001	-22.13	-0.0057	182.54	-0.0042	4
5	-4.43	-0.0160	182.82	0.0031	-15.44	-0.0127	184.10	-0.0003	-22.27	-0.0054	182.44	-0.0043	5
6	-4.81	-0.0160	182.90	0.0031	-15.74	-0.0126	184.10	-0.0004	-22.40	-0.0051	182.34	-0.0044	6
7	-5.20	-0.0160	182.97	0.0030	-16.04	-0.0124	184.09	-0.0006	-22.52	-0.0048	182.24	-0.0045	7
8	-5.58	-0.0159	183.04	0.0029	-16.34	-0.0122	184.07	-0.0007	-22.63	-0.0044	182.13	-0.0046	8
9	-5.96	-0.0158	183.11	0.0028	-16.63	-0.0119	184.06	-0.0009	-22.74	-0.0042	182.02	-0.0047	9
10	-6.34	-0.0158	183.18	0.0028	-16.92	-0.0118	184.04	-0.0010	-22.84	-0.0038	181.91	-0.0047	10
11	-6.72	-0.0158	183.25	0.0027	-17.20	-0.0115	184.01	-0.0011	-22.93	-0.0035	181.79	-0.0048	11
12	-7.10	-0.0157	183.31	0.0026	-17.48	-0.0114	183.99	-0.0013	-23.02	-0.0033	181.68	-0.0049	12
13	-7.47	-0.0156	183.38	0.0025	-17.75	-0.0111	183.96	-0.0014	-23.10	-0.0028	181.56	-0.0049	13
14	-7.85	-0.0155	183.44	0.0024	-18.02	-0.0110	183.94	-0.0016	-23.16	-0.0026	181.45	-0.0049	14
15	-8.22	-0.0154	183.50	0.0024	-18.28	-0.0107	183.89	-0.0017	-23.23	-0.0023	181.33	-0.0050	15
16	-8.59	-0.0153	183.55	0.0023	-18.54	-0.0105	183.85	-0.0019	-23.29	-0.0019	181.21	-0.0051	16
17	-8.96	-0.0153	183.61	0.0022	-18.79	-0.0102	183.80	-0.0020	-23.33	-0.0016	181.09	-0.0051	17
18	-9.33	-0.0152	183.66	0.0021	-19.04	-0.0100	183.75	-0.0022	-23.37	-0.0013	180.96	-0.0051	18
19	-9.69	-0.0151	183.71	0.0019	-19.28	-0.0098	183.70	-0.0023	-23.40	-0.0010	180.84	-0.0051	19
20	-10.05	-0.0150	183.76	0.0018	-19.51	-0.0095	183.65	-0.0024	-23.42	-0.0006	180.72	-0.0051	20
21	-10.41	-0.0149	183.80	0.0017	-19.74	-0.0092	183.59	-0.0025	-23.43	-0.0003	180.60	-0.0052	21
22	-10.77	-0.0148	183.84	0.0016	-19.96	-0.0090	183.53	-0.0027	-23.44	0.0001	180.47	-0.0052	22
23	-11.12	-0.0146	183.88	0.0015	-20.18	-0.0088	183.46	-0.0028	-23.44	0.0003	180.35	-0.0052	23
24	-11.48	-0.0145	183.92	0.0014	-20.39	-0.0085	183.40	-0.0030	-23.43	0.0007	180.22	-0.0051	24
25	-11.82	-0.0144	183.95	0.0013	-20.59	-0.0082	183.32	-0.0031	-23.42	0.0010	180.10	-0.0051	25
26	-12.17	-0.0143	183.98	0.0011	-20.79	-0.0080	183.25	-0.0033	-23.39	0.0013	179.98	-0.0051	26
27	-12.51	-0.0141	184.01	0.0010	-20.98	-0.0077	183.17	-0.0034	-23.36	0.0017	179.85	-0.0051	27
28	-12.85	-0.0140	184.03	0.0008	-21.17	-0.0074	183.09	-0.0035	-23.32	0.0019	179.73	-0.0051	28
29	-13.19	-0.0139	184.05	0.0007	-21.34	-0.0072	183.01	-0.0036	-23.27	0.0023	179.60	-0.0051	29
30	-13.52	-0.0137	184.07	0.0006	-21.51	-0.0069	182.92	-0.0038	-23.22	0.0026	179.48	-0.0051	30
31	-13.85	-0.0135	184.08	0.0005					-23.16	0.0029	179.36	-0.0050	31

$$\text{Heure passage méridien} = \frac{360 - GHA_0 - K_g}{15 + g}$$

Correction k pour les années	
1981	11.63
1982	5.81
1983	0
1984	-5.81
1985	18.19
1986	12.37
1987	6.56
1988	0.75
1989	-5.05
1990	18.94
1991	13.12
1992	7.31
1993	-4.32
1994	19.68
1995	13.87
1996	8.06
1997	2.25
1998	-3.57
1999	20.43
2000	14.62
2001	8.81
2002	3.00
2003	-2.82
2004	21.18

* A partir du 29 février

Exemple pour R : 1996-1983 = 13 ans → Jour de l'année : R = 20, K = 3, m = 10 → R = -3,566 Pour 2009 R = 16,87 K = 0,57 m = 3 → R = 16,30 etc...

LE REPERAGE DES ASTRES

LES DIVERS SYSTEMES DE COORDONNEES

Tous les problèmes que posent l'Astronomie de Position et la Navigation Astronomique se résolvent sur des sphères.

L'observateur se place à la surface de la Terre supposée sphérique; cette sphère est dite sphère terrestre.

Il repère la direction des astres en les projetant sur des sphères célestes qui peuvent:

- soit dépendre du lieu d'observation comme c'est le cas pour celle qu'on désigne sous le nom de sphère locale,
- soit, au contraire, être indépendante du lieu d'observation; c'est alors la sphère céleste proprement dite.

Nous avons vu dans les éléments de géométrie sphérique au début de cet exposé, que la position d'un point à la surface d'une sphère se définit au moyen de coordonnées sphériques.

Un grand cercle de la sphère est choisi comme cercle fondamental du système de coordonnées; on adopte sur ce cercle un point origine et un sens de parcours.

Le diamètre de la sphère qui est normal au plan du cercle fondamental peut, servir, au même titre que ce cercle, d'élément de référence pour les coordonnées. On adopte, sur ce diamètre, un sens positif et un sens négatif, à partir du centre de la sphère.

Nous allons appliquer ces règles pour définir, sur leurs sphères respectives, le système des coordonnées terrestres, appelées coordonnées géographiques, du lieu d'observation, et les systèmes des coordonnées locales et des coordonnées célestes des astres observés.

Annexe E₁

$$D = D_0 + (UT + K)d$$

TABLE PERMANENTE POUR LE SOLEIL

$$GHA = GHA_0 + (UT + K)g + (UT \times 15)$$

- Données décimales -

D₀ déclinaison à 0^hUT - d variation horaire de D₀ - GHA₀ angle horaire à Greenwich à 0^hUT - g variation horaire de GHA₀

Correction k pour les années

1981	11,63
1982	5,81
1983	0
1984	-5,81
1985	12,37
1986	6,56
1987	0,75
1988	-5,06
1989	13,12
1990	7,31
1991	1,50
1992	-4,32
1993	13,87
1994	8,06
1995	2,25
1996	-3,57
1997	20,43
1998	14,62
1999	8,81
2000	-2,82
2001	21,18

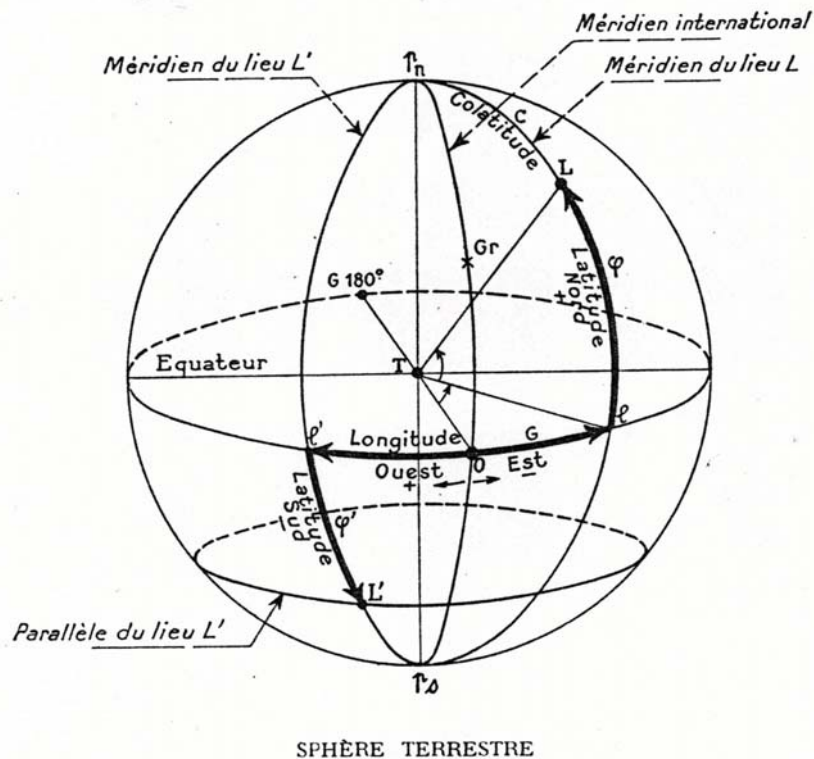
* A partir du 29 février

JOUR	D ₀	d	GHA ₀	g	JOUR	D ₀	d	GHA ₀	g	JOUR	D ₀	d	GHA ₀	g	JOUR	D ₀	d	GHA ₀	g	JOUR	D ₀	d	GHA ₀	g
1	-23.07	0.0033	179.21	-0.0049	1	-17.32	0.0117	176.63	-0.0014	1	-7.08	0.0158	176.86	0.0020	1	14.24	0.0161	180.79	0.0004	1	21.95	0.0057	180.70	0.0013
2	-23.99	0.0037	179.09	-0.0049	2	-17.04	0.0120	176.59	-0.0013	2	-7.51	0.0159	176.90	0.0021	2	14.52	0.0160	180.80	0.0004	2	22.08	0.0055	180.56	-0.0016
3	-22.90	0.0040	178.98	-0.0048	3	-16.75	0.0122	176.56	-0.0012	3	-7.12	0.0160	176.95	0.0022	3	14.86	0.0161	180.81	0.0004	3	22.16	0.0055	180.52	-0.0017
4	-22.80	0.0043	178.86	-0.0048	4	-16.46	0.0124	176.53	-0.0010	4	-6.74	0.0160	177.01	0.0022	4	15.19	0.0161	180.82	0.0004	4	22.24	0.0049	180.48	-0.0017
5	-22.70	0.0046	178.75	-0.0047	5	-16.16	0.0126	176.51	-0.0009	5	-6.36	0.0161	177.06	0.0023	5	15.52	0.0161	180.83	0.0004	5	22.32	0.0047	180.44	-0.0018
6	-22.59	0.0049	178.63	-0.0046	6	-15.86	0.0128	176.49	-0.0007	6	-5.97	0.0161	177.12	0.0024	6	15.85	0.0161	180.84	0.0004	6	22.40	0.0044	180.40	-0.0019
7	-22.49	0.0052	178.52	-0.0045	7	-15.55	0.0130	176.47	-0.0006	7	-5.58	0.0162	177.17	0.0025	7	16.18	0.0162	180.85	0.0004	7	22.48	0.0042	180.35	-0.0019
8	-22.35	0.0056	178.42	-0.0044	8	-15.24	0.0131	176.46	-0.0005	8	-5.20	0.0163	177.23	0.0026	8	16.50	0.0163	180.86	0.0004	8	22.56	0.0038	180.31	-0.0020
9	-22.21	0.0058	178.31	-0.0044	9	-14.92	0.0133	176.44	-0.0003	9	-4.81	0.0163	177.30	0.0026	9	16.82	0.0163	180.87	0.0004	9	22.64	0.0035	180.26	-0.0021
10	-22.07	0.0061	178.20	-0.0042	10	-14.60	0.0135	176.44	-0.0002	10	-4.41	0.0163	177.36	0.0026	10	17.14	0.0163	180.88	0.0004	10	22.72	0.0033	180.21	-0.0021
11	-21.93	0.0065	178.10	-0.0042	11	-14.28	0.0137	176.43	0	11	-4.02	0.0164	177.42	0.0027	11	17.46	0.0164	180.89	0.0004	11	22.80	0.0030	180.16	-0.0022
12	-21.77	0.0067	178.00	-0.0040	12	-13.95	0.0138	176.43	0.0001	12	-3.63	0.0164	177.49	0.0028	12	17.78	0.0164	180.90	0.0004	12	22.88	0.0027	180.11	-0.0022
13	-21.61	0.0070	177.91	-0.0040	13	-13.62	0.0140	176.43	0.0002	13	-3.24	0.0164	177.55	0.0028	13	18.10	0.0164	180.91	0.0004	13	22.96	0.0024	180.06	-0.0022
14	-21.44	0.0073	177.81	-0.0039	14	-13.28	0.0141	176.44	0.0003	14	-2.84	0.0165	177.62	0.0028	14	18.42	0.0165	180.92	0.0004	14	23.04	0.0022	180.01	-0.0022
15	-21.27	0.0076	177.72	-0.0037	15	-12.95	0.0143	176.44	0.0005	15	-2.45	0.0165	177.69	0.0029	15	18.74	0.0165	180.93	0.0004	15	23.12	0.0020	179.95	-0.0022
16	-21.08	0.0079	177.63	-0.0035	16	-12.60	0.0144	176.46	0.0006	16	-2.05	0.0165	177.76	0.0029	16	19.06	0.0165	180.94	0.0004	16	23.20	0.0018	179.90	-0.0022
17	-20.89	0.0081	177.54	-0.0035	17	-12.26	0.0145	176.47	0.0007	17	-1.66	0.0165	177.83	0.0030	17	19.38	0.0165	180.95	0.0004	17	23.28	0.0016	179.85	-0.0022
18	-20.70	0.0084	177.46	-0.0033	18	-11.91	0.0147	176.49	0.0008	18	-1.26	0.0165	177.90	0.0030	18	19.70	0.0165	180.96	0.0004	18	23.36	0.0013	179.85	-0.0022
19	-20.50	0.0087	177.38	-0.0032	19	-11.55	0.0148	176.51	0.0010	19	-0.87	0.0165	177.97	0.0031	19	20.02	0.0165	180.97	0.0004	19	23.44	0.0010	179.79	-0.0023
20	-20.29	0.0090	177.30	-0.0031	20	-11.20	0.0149	176.53	0.0011	20	-0.47	0.0165	178.05	0.0031	20	20.34	0.0165	180.98	0.0004	20	23.52	0.0007	179.74	-0.0023
21	-20.07	0.0092	177.23	-0.0030	21	-10.84	0.0150	176.56	0.0012	21	-0.08	0.0165	178.12	0.0031	21	20.66	0.0165	180.99	0.0004	21	23.60	0.0005	179.69	-0.0023
22	-19.85	0.0094	177.15	-0.0028	22	-10.48	0.0151	176.58	0.0013	22	0.32	0.0165	178.19	0.0031	22	20.98	0.0165	181.00	0.0004	22	23.68	0.0003	179.58	-0.0023
23	-19.63	0.0097	177.09	-0.0026	23	-10.12	0.0152	176.62	0.0014	23	0.71	0.0165	178.27	0.0031	23	21.30	0.0165	181.01	0.0004	23	23.76	0.0002	179.52	-0.0023
24	-19.39	0.0099	177.02	-0.0026	24	-9.75	0.0153	176.65	0.0015	24	1.11	0.0164	178.35	0.0032	24	21.62	0.0164	181.02	0.0004	24	23.84	0.0001	179.47	-0.0022
25	-19.15	0.0102	176.96	-0.0024	25	-9.38	0.0154	176.69	0.0016	25	1.50	0.0164	178.42	0.0032	25	21.94	0.0164	181.03	0.0004	25	23.92	0.0000	179.41	-0.0022
26	-18.91	0.0105	176.90	-0.0023	26	-9.01	0.0155	176.72	0.0017	26	1.90	0.0164	178.50	0.0032	26	22.26	0.0164	181.04	0.0004	26	24.00	0.0000	179.36	-0.0022
27	-18.66	0.0107	176.85	-0.0021	27	-8.64	0.0155	176.77	0.0019	27	2.29	0.0163	178.57	0.0032	27	22.58	0.0163	181.05	0.0004	27	24.08	0.0000	179.31	-0.0022
28	-18.40	0.0109	176.80	-0.0020	28	-8.26	0.0157	176.81	0.0019	28	2.68	0.0163	178.65	0.0032	28	22.86	0.0163	181.06	0.0004	28	24.16	0.0000	179.26	-0.0022
29	-18.14	0.0111	176.75	-0.0019	29	-7.89	0.0158	176.84	0.0020	29	3.07	0.0163	178.73	0.0032	29	23.14	0.0163	181.07	0.0004	29	24.24	0.0000	179.21	-0.0021
30	-17.87	0.0114	176.70	-0.0017	30	-7.52	0.0159	176.87	0.0021	30	3.46	0.0162	178.80	0.0031	30	23.42	0.0162	181.08	0.0004	30	24.32	0.0000	179.16	-0.0020
31	-17.60	0.0116	176.63	-0.0016	31	-7.15	0.0160	176.90	0.0022	31	3.85	0.0161	178.88	0.0031	31	23.70	0.0161	181.09	0.0004	31	24.40	0.0000	179.11	-0.0020

$K = 24 [365.25 + 366.25 - 365.252 (n + 6)]$
 On part de 1983 et on fait: Année - 1983 = n + 6
 n = années normales, 6 = bissextile, pour l'année de l'année comptée 16 de moins

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES

Longitude et Latitude



SPHÈRE TERRESTRE

TABLE 4.—GHA and Declination of the Sun for the Years 1965–2000—Argument "Orbit Time"

O.T.	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	O.T.
00 ^h	E	Dec.	E	Dec.	E	Dec.	E	Dec.	E	Dec.	E	Dec.	00 ^h
1	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	1
2	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	2
3	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	3
4	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	4
5	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5
6	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	6
7	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	7
8	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	8
9	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	9
10	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	10
11	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	11
12	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	12
13	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	13
14	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	14
15	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	15
16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	16
17	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	17
18	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	18
19	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	19
20	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	20
21	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	21
22	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	22
23	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	23
24	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	24
25	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	25
26	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	26
27	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	27
28	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	28
29	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	29
30	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	30
31	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	5 17 16	17 16	31

a. Corr. to GMT

Year	Corr.	Year	Corr.
1965	+4	1977	+7
1966	+4	1978	+7
1967	+4	1979	+7
1968	+4	1980	+7
1969	+4	1981	+7
1970	+4	1982	+7
1971	+4	1983	+7
1972	+4	1984	+7
1973	+4	1985	+7
1974	+4	1986	+7
1975	+4	1987	+7
1976	+4	1988	+7
1977	+4	1989	+7
1978	+4	1990	+7
1979	+4	1991	+7
1980	+4	1992	+7
1981	+4	1993	+7
1982	+4	1994	+7
1983	+4	1995	+7
1984	+4	1996	+7
1985	+4	1997	+7
1986	+4	1998	+7
1987	+4	1999	+7
1988	+4	2000	+7
1989	+4	2001	+7
1990	+4	2002	+7
1991	+4	2003	+7
1992	+4	2004	+7
1993	+4	2005	+7
1994	+4	2006	+7
1995	+4	2007	+7
1996	+4	2008	+7
1997	+4	2009	+7
1998	+4	2010	+7
1999	+4	2011	+7
2000	+4	2012	+7

After Feb. 29

b. Interpolation for Hours of O.T.

Year	Corr.	Year	Corr.
1965	+4	1977	+7
1966	+4	1978	+7
1967	+4	1979	+7
1968	+4	1980	+7
1969	+4	1981	+7
1970	+4	1982	+7
1971	+4	1983	+7
1972	+4	1984	+7
1973	+4	1985	+7
1974	+4	1986	+7
1975	+4	1987	+7
1976	+4	1988	+7
1977	+4	1989	+7
1978	+4	1990	+7
1979	+4	1991	+7
1980	+4	1992	+7
1981	+4	1993	+7
1982	+4	1994	+7
1983	+4	1995	+7
1984	+4	1996	+7
1985	+4	1997	+7
1986	+4	1998	+7
1987	+4	1999	+7
1988	+4	2000	+7
1989	+4	2001	+7
1990	+4	2002	+7
1991	+4	2003	+7
1992	+4	2004	+7
1993	+4	2005	+7
1994	+4	2006	+7
1995	+4	2007	+7
1996	+4	2008	+7
1997	+4	2009	+7
1998	+4	2010	+7
1999	+4	2011	+7
2000	+4	2012	+7

TABLE 4.—GHA and Declination of the Sun for the Years 1965-2000—Argument "Orbit Time"—Continued
c. Hours and Tens of minutes of GMT

	00m	10m	20m	30m	40m	50m
0	175 00	177 30	180 00	182 30	185 00	187 30
1	176 00	178 30	181 00	183 30	186 00	188 30
2	177 00	179 30	182 00	184 30	187 00	189 30
3	178 00	180 30	183 00	185 30	188 00	190 30
4	179 00	181 30	184 00	186 30	189 00	191 30
5	180 00	182 30	185 00	187 30	190 00	192 30
6	181 00	183 30	186 00	188 30	191 00	193 30
7	182 00	184 30	187 00	189 30	192 00	194 30
8	183 00	185 30	188 00	190 30	193 00	195 30
9	184 00	186 30	189 00	191 30	194 00	196 30
10	185 00	187 30	190 00	192 30	195 00	197 30
11	186 00	188 30	191 00	193 30	196 00	198 30
12	187 00	189 30	192 00	194 30	197 00	199 30
13	188 00	190 30	193 00	195 30	198 00	200 30
14	189 00	191 30	194 00	196 30	199 00	201 30
15	190 00	192 30	195 00	197 30	200 00	202 30
16	191 00	193 30	196 00	198 30	201 00	203 30
17	192 00	194 30	197 00	199 30	202 00	204 30
18	193 00	195 30	198 00	200 30	203 00	205 30
19	194 00	196 30	199 00	201 30	204 00	206 30
20	195 00	197 30	200 00	202 30	205 00	207 30
21	196 00	198 30	201 00	203 30	206 00	208 30
22	197 00	199 30	202 00	204 30	207 00	209 30
23	198 00	200 30	203 00	205 30	208 00	210 30

EXPLANATION

Table 4 and supplementary tables a, b, c, d, make possible the determination of the GHA and declination of the Sun for any time during the years 1965-2000. The main table gives E (S' = Equation of Time) and declination of the Sun for the argument "Orbit Time" O.T., the latter formed by applying the h correction from Table a to the nearest integral hour of GMT. In leap years the upper value of the correction is to be used for January and February and the lower value for the rest of the year. Thus, O.T.'s corresponding to GMT's of 1631 February 29 and 0529 March 1, 1968, are 0400 February 29 and 1600 March 1, respectively.

Corrections to E and declination for O.T. are determined by entering Table b with differences between consecutive values of E and declination as horizontal argument, and the vertical column with number of hours of O.T. as vertical argument.

The GHA is obtained by adding to the corrected E the value of the diurnal arc obtained from Tables c and d. The latter two tables must be entered with argument GMT.

Example.—January 18, 1968, GMT=3h30m35s.

O.T.=GMT (nearest integral hour) + Corr. (Table a).

O.T.=Jan. 18 0404—13h=Jan. 17 015h.

Main Table, Jan. 17th O.T., 2nd 31' (—5) S 20°52' (—12)

Table b, 15th O.T., —3'

E, Dec., Jan. 17th O.T., 2nd 28'

Table c, 3rd 30= GMT —227°30'

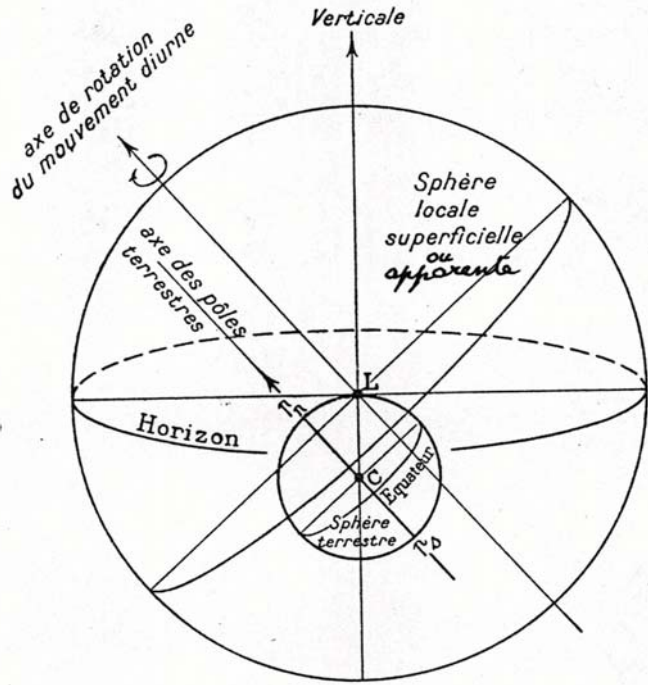
Table d, 0=35= GMT 0°09'

Sum, GHA Sun 230°07'

Annexe D
(suite)

COORDONNEES GEOGRAPHIQUES

- 1) La LONGITUDE "G"
comptée sur l'Equateur
de 0° à 180°
à partir du méridien international
positivement vers l'OUEST (W = +)
négativement vers l'EST (E = -)
- 2) La LATITUDE "L" ou "φ"
comptée sur le méridien du lieu
de 0° à 90°
à partir de l'Equateur
positivement vers le Pole Nord (N = +)
négativement vers le Pole Sud (S = -)



SPHÈRE LOCALE

jour et Heure GMT :

Plus proche heure ronde :

Table a (années) :

Temps orbital,

jour & Heure ronde :

Table 4 :

Table b :

Table c (Hes et min de GMT) :

Table d (min et sec. de GMT) :

Alvo

h	m	sec.
h		
h		
e =	Déc. =	d =
	corr. d =	
		D ₀

Ces tables permettent de déterminer les éléments du Soleil : Angle horaire (A_h) et déclinaison (D) depuis 1965 jusqu'en 2000 pour n'importe quel instant.

On passe par le "temps orbital" qui est obtenu en appliquant la correction "h" de la table "a" à l'heure GMT la plus proche.

Les années bissextiles, on prend la première valeur pour janvier et février, la seconde pour le reste de l'année.

On a donc ainsi le temps orbital en jour et heure ronde. (Le jour peut être différent du jour effectif.)

Avec le jour orbital, dans la table 4, (la 1^{ère}) on obtient E et la déclinaison du soleil D à 0h00.

Avec l'heure orbitale et les différences tabulaires pour 24 heures, "e" et "d" de E et D prises dans la table 4, on entre dans la table "b" et l'on obtient des corrections à E et D.

S'il on ne cherche que D on l'a trouvé, à 1' près.

Pour obtenir A_h, appliquer deux corrections simples tirées des tables c et d pour les heures, minutes et secondes de GMT.

A_h permet de calculer l'heure du passage du ☉ au méridien

LA SPHERE LOCALE

L'observateur, en un lieu L à la surface de la Terre voit les astres se déplacer sur une voûte sphérique qui l'entoure, alors que la Terre lui paraît immobile.

Cette apparence conduit l'observateur à repérer la direction des astres en les projetant sur une sphère que nous appellerons : la sphère locale apparente, qui est une sphère imaginaire de rayon arbitraire, qui a pour centre l'œil de l'observateur.

1) Pour représenter la position des astres sur cette sphère, l'observateur utilise des éléments de référence qui sont des repères fixes du lieu d'observation, des éléments directement accessibles, dans son environnement.

Le premier élément dont il dispose, est le fil à plomb qui lui indique la VERTICALE du lieu où il se trouve,

le deuxième, qui en découle, est l'HORIZON.

Verticale et horizon vont nous servir à définir le premier système de coordonnées locales : les coordonnées horizontales.

2) Mais, pour pouvoir suivre le mouvement diurne au moyen de coordonnées mieux appropriées, il nous faudra définir un deuxième système de coordonnées locales : les coordonnées horaires.

Ce système a comme éléments de référence, l'AXE DE ROTATION du mouvement diurne, et le PLAN PERPENDICULAIRE A CET AXE qui passe par le centre de la sphère locale.

Les astres sont situés à de telles distances de la Terre, en ce qui concerne les étoiles du moins, qu'il n'y a aucun inconvénient à supposer la Terre réduite à un point au milieu de la sphère locale, et l'observateur réduit lui-même à un point au centre commun de la sphère locale et de la Terre. Pour ce qui est des planètes, du Soleil et de la Lune on agit de même, mais on devra tenir compte dans les calculs d'une correction de parallaxe.

Cette représentation de la sphère locale s'appelle : la sphère locale géocentrique (ou encore sphère locale vraie).

Dans tout ce qui suivra, nous travaillerons toujours sur la sphère locale géocentrique.

DEFINITION: La sphère locale géocentrique est une sphère imaginaire, de rayon arbitraire, très grand par rapport au rayon de la Terre, dont le centre est supposé coïncider avec le centre de la Terre, et sur la surface intérieure de laquelle paraissent se déplacer tous les astres.

Son caractère local est fixé par :

- la direction de sa VERTICALE ascendante, qui dépend de la LATITUDE du lieu d'observation;
- l'orientation du plan de son MERIDIEN, qui dépend de la LONGITUDE du lieu d'observation.

CONVERSION DES HEURES, MINUTES ET SECONDES EN FRACTIONS DÉCIMALES DE JOUR

Heures	Fractions décimales de jour	Minutes	Fractions décimales de jour	Secondes	Fractions décimales de jour
1	0,041667	1	0,000894	1	0,000012
2	0,083333	2	0,001789	2	0,000023
3	0,125000	3	0,002683	3	0,000035
4	0,166667	4	0,003578	4	0,000046
5	0,208333	5	0,004472	5	0,000058
6	0,250000	6	0,005367	6	0,000069
7	0,291667	7	0,006261	7	0,000081
8	0,333333	8	0,007156	8	0,000093
9	0,375000	9	0,008050	9	0,000104
10	0,416667	10	0,008944	10	0,000116
11	0,458333	11	0,009839	11	0,000127
12	0,500000	12	0,010733	12	0,000139
13	0,541667	13	0,011628	13	0,000150
14	0,583333	14	0,012522	14	0,000162
15	0,625000	15	0,013417	15	0,000174
16	0,666667	16	0,014311	16	0,000185
17	0,708333	17	0,015206	17	0,000197
18	0,750000	18	0,016100	18	0,000208
19	0,791667	19	0,016994	19	0,000220
20	0,833333	20	0,017889	20	0,000231
21	0,875000	21	0,018783	21	0,000243
22	0,916667	22	0,019678	22	0,000255
23	0,958333	23	0,020572	23	0,000266
		24	0,021467	24	0,000278
		25	0,022361	25	0,000289
		26	0,023256	26	0,000301
		27	0,024150	27	0,000312
		28	0,025044	28	0,000324
		29	0,025939	29	0,000336
		30	0,026833	30	0,000347
		31	0,027728	31	0,000359
		32	0,028622	32	0,000370
		33	0,029517	33	0,000382
		34	0,030411	34	0,000394
		35	0,031306	35	0,000405
		36	0,032200	36	0,000417
		37	0,033094	37	0,000428
		38	0,033989	38	0,000440
		39	0,034883	39	0,000451
		40	0,035778	40	0,000463
		41	0,036672	41	0,000475
		42	0,037567	42	0,000486
		43	0,038461	43	0,000498
		44	0,039356	44	0,000509
		45	0,040250	45	0,000521
		46	0,041144	46	0,000532
		47	0,042039	47	0,000544
		48	0,042933	48	0,000556
		49	0,043828	49	0,000567
		50	0,044722	50	0,000579
		51	0,045617	51	0,000590
		52	0,046511	52	0,000602
		53	0,047406	53	0,000613
		54	0,048300	54	0,000625
		55	0,049194	55	0,000637
		56	0,050089	56	0,000648
		57	0,050983	57	0,000660
		58	0,051878	58	0,000671
		59	0,052772	59	0,000683
		60	0,053667	60	0,000694

SUN										
0		Quad. GHA Corr.	1		Date	2		Quad. Dec. Corr.	3	
GHA -175°	Dec.		GHA -175°	Dec.		GHA -175°	Dec.		GHA -175°	Dec.
JANUARY										
4 14.4	23 05.5 S	-0.11	4 09.0	23 02.0 S	1	4 10.8	23 03.1 S	-0.32	4 12.9	23 04.2 S
3 53.3	22 50.2 S	-0.13	3 48.0	22 45.6 S	4	3 49.8	22 47.0 S	-0.35	3 51.9	22 48.4 S
3 33.0	22 30.7 S	-0.12	3 27.8	22 25.1 S	7	3 29.8	22 26.8 S	-0.39	3 31.7	22 28.6 S
3 13.8	22 07.2 S	-0.09	3 08.8	22 00.6 S	10	3 10.8	22 02.7 S	-0.42	3 12.5	22 04.8 S
2 55.7	21 39.9 S	-0.04	2 51.1	21 32.2 S	13	2 53.0	21 34.7 S	-0.44	2 54.5	21 37.1 S
2 38.9	21 08.7 S	+0.03	2 34.8	21 00.2 S	16	2 36.6	21 02.9 S	-0.46	2 37.9	21 05.8 S
2 23.7	20 33.9 S	+0.09	2 20.1	20 24.5 S	19	2 21.7	20 27.5 S	-0.48	2 22.9	20 30.5 S
2 10.1	19 55.6 S	+0.13	2 07.0	19 45.4 S	22	2 08.4	19 48.7 S	-0.49	2 09.5	19 51.9 S
1 58.2	19 13.9 S	-0.15	1 53.7	19 02.9 S	25	1 56.8	19 06.4 S	-0.52	1 57.9	19 10.0 S
1 48.2	18 29.1 S	+0.15	1 46.1	18 17.3 S	28	1 47.0	18 21.1 S	-0.54	1 48.0	18 24.9 S
FEBRUARY										
1 37.7	17 24.7 S	+0.13	1 36.1	17 11.9 S	1	1 36.8	17 16.0 S	-0.57	1 37.8	17 20.2 S
1 32.0	16 33.2 S	+0.14	1 30.7	16 19.6 S	4	1 31.3	16 24.0 S	-0.59	1 32.1	16 28.4 S
1 28.0	15 39.0 S	+0.15	1 27.1	15 24.8 S	7	1 27.8	15 29.3 S	-0.60	1 28.3	15 34.0 S
1 25.9	14 42.5 S	+0.19	1 25.4	14 27.7 S	10	1 26.0	14 32.5 S	-0.61	1 26.3	14 37.2 S
1 25.1	13 43.6 S	+0.24	1 25.4	13 28.4 S	13	1 25.9	13 33.4 S	-0.60	1 26.0	13 38.2 S
1 26.7	12 42.8 S	+0.29	1 27.2	12 27.1 S	16	1 27.5	12 32.3 S	-0.60	1 27.4	12 37.2 S
1 29.6	11 40.1 S	+0.34	1 30.6	11 24.0 S	19	1 30.7	11 29.3 S	-0.59	1 30.4	11 34.4 S
1 34.0	10 35.8 S	+0.36	1 35.6	10 19.3 S	22	1 35.4	10 24.7 S	-0.59	1 35.1	10 30.0 S
1 40.0	9 30.0 S	+0.36	1 41.9	9 13.2 S	25	1 41.5	9 18.6 S	-0.60	1 41.2	9 24.1 S
1 47.4	8 23.0 S	+0.34	1 49.5	8 05.8 S	28	1 49.0	8 11.3 S	-0.61	1 48.7	8 17.0 S
MARCH										
1 52.9	7 37.6 S	+0.32	1 52.3	7 43.1 S	1	1 51.7	7 48.7 S	-0.62	1 51.4	7 54.3 S
2 02.3	6 28.8 S	+0.31	2 01.4	6 34.4 S	4	2 00.8	6 40.0 S	-0.62	2 00.4	6 45.7 S
2 12.6	5 19.2 S	+0.31	2 11.6	5 24.8 S	7	2 11.0	5 30.5 S	-0.62	2 10.5	5 36.3 S
2 23.8	4 08.9 S	+0.33	2 22.6	4 14.5 S	10	2 22.1	4 20.4 S	-0.61	2 21.4	4 26.1 S
2 35.7	2 58.2 S	+0.36	2 34.5	3 03.8 S	13	2 33.9	3 09.7 S	-0.59	2 33.1	3 15.5 S
2 48.2	1 47.1 S	+0.40	2 47.1	1 52.8 S	16	2 46.4	1 58.7 S	-0.56	2 45.4	2 04.3 S
3 01.1	0 35.9 S	+0.43	3 00.1	0 41.7 S	19	2 59.4	0 47.6 S	-0.54	2 58.3	0 53.3 S
3 14.5	0 35.2 N	+0.44	3 13.6	0 29.4 N	22	3 12.7	0 23.6 N	+0.53	3 11.6	0 17.8 N
3 28.1	1 46.1 N	+0.43	3 27.2	1 40.3 N	25	3 26.2	1 34.6 N	+0.52	3 25.2	1 28.8 N
3 41.9	2 56.6 N	+0.40	3 40.9	2 50.9 N	28	3 39.8	2 45.2 N	+0.52	3 38.9	2 39.4 N
APRIL										
4 00.0	4 29.8 N	+0.35	3 59.0	4 24.3 N	1	3 57.9	4 18.6 N	+0.52	3 57.1	4 12.8 N
4 13.4	5 38.9 N	+0.33	4 12.3	5 33.4 N	4	4 11.2	5 27.8 N	+0.51	4 10.5	5 22.1 N
4 26.4	6 47.1 N	+0.32	4 25.2	6 41.7 N	7	4 24.3	6 36.2 N	+0.49	4 23.5	6 30.6 N
4 38.8	7 54.3 N	+0.33	4 37.7	7 49.0 N	10	4 36.9	7 43.5 N	+0.47	4 36.0	7 38.0 N
4 50.6	9 00.3 N	+0.35	4 49.6	8 55.1 N	13	4 48.9	8 49.7 N	+0.44	4 48.0	8 44.3 N
5 01.7	10 05.0 N	+0.37	5 00.9	9 59.8 N	16	5 00.2	9 54.5 N	+0.41	4 59.2	9 49.3 N
5 12.0	11 08.1 N	+0.39	5 11.3	11 03.0 N	19	5 10.6	10 57.9 N	+0.39	5 09.7	10 52.8 N
5 21.4	12 09.6 N	+0.37	5 20.9	12 04.6 N	22	5 20.0	11 59.7 N	+0.37	5 19.3	11 54.7 N
5 29.8	13 09.2 N	+0.33	5 29.4	13 04.4 N	25	5 28.5	12 59.7 N	+0.36	5 28.0	12 54.8 N
5 37.2	14 06.9 N	+0.28	5 36.8	14 02.3 N	28	5 36.0	13 57.7 N	+0.34	5 35.6	13 53.0 N
MAY										
5 43.4	15 02.6 N	+0.24	5 43.0	14 58.1 N	1	5 42.3	14 53.7 N	+0.33	5 42.1	14 49.2 N
5 48.4	15 56.0 N	+0.20	5 48.0	15 51.7 N	4	5 47.5	15 47.5 N	+0.31	5 47.3	15 43.1 N
5 52.1	16 47.0 N	+0.19	5 51.7	16 43.0 N	7	5 51.4	16 38.9 N	+0.28	5 51.3	16 34.7 N
5 54.5	17 35.5 N	+0.19	5 54.2	17 31.7 N	10	5 54.1	17 27.8 N	+0.25	5 53.9	17 23.9 N
5 55.6	18 21.4 N	+0.21	5 55.5	18 17.7 N	13	5 55.5	18 14.1 N	+0.22	5 55.3	18 10.4 N
5 55.4	19 04.5 N	+0.23	5 55.5	19 01.0 N	16	5 55.5	18 57.6 N	+0.19	5 55.4	18 54.2 N
5 53.9	19 44.7 N	+0.23	5 54.3	19 41.4 N	19	5 54.3	19 38.3 N	+0.16	5 54.3	19 35.1 N
5 51.3	20 21.8 N	+0.20	5 51.8	20 18.8 N	22	5 51.7	20 15.9 N	+0.13	5 51.9	20 13.0 N
5 47.5	20 55.8 N	+0.16	5 48.1	20 53.1 N	25	5 48.0	20 50.5 N	+0.11	5 48.4	20 47.7 N
5 42.6	21 26.6 N	+0.11	5 43.2	21 24.2 N	28	5 43.2	21 21.8 N	+0.08	5 43.8	21 19.3 N
JUNE										
5 34.5	22 02.4 N	+0.04	5 35.1	22 00.4 N	1	5 35.2	21 58.3 N	+0.04	5 36.0	21 56.2 N
5 27.4	22 25.3 N	+0.02	5 27.9	22 23.5 N	4	5 28.2	22 21.7 N	+0.01	5 28.9	22 19.9 N
5 19.4	22 44.6 N	+0.02	5 19.9	22 43.1 N	7	5 20.4	22 41.6 N	-0.02	5 21.1	22 40.1 N
5 10.7	23 00.3 N	+0.04	5 11.3	22 59.1 N	10	5 11.9	22 57.9 N	-0.05	5 12.5	22 56.7 N
5 01.5	23 12.4 N	+0.07	5 02.3	23 11.5 N	13	5 02.9	23 10.6 N	-0.08	5 03.4	23 09.7 N
4 51.9	23 20.8 N	+0.09	4 52.8	23 20.2 N	16	4 53.4	23 19.6 N	-0.12	4 53.9	23 19.0 N
4 42.1	23 25.5 N	+0.08	4 43.2	23 25.3 N	19	4 43.6	23 24.9 N	-0.15	4 44.2	23 24.6 N
4 32.4	23 26.5 N	+0.06	4 33.4	23 26.6 N	22	4 33.7	23 26.5 N	-0.18	4 34.5	23 26.5 N
4 22.8	23 23.8 N	+0.01	4 23.8	23 24.1 N	25	4 24.0	23 24.4 N	-0.22	4 24.8	23 24.6 N
4 13.4	23 17.4 N	-0.03	4 14.3	23 18.0 N	28	4 14.5	23 18.5 N	-0.25	4 15.4	23 19.1 N

SPHÈRE. LOCALE

ANNEXE C

TABLE SOLAIRE FÉLICIEN-ENTÉ 1982

SUN											
0		Quad. GHA Corr.	1		Date	2		Quad. Dec. Corr.	3		
GHA -173°	Dec.		GHA -175°	Dec.		GHA -175°	Dec.		GHA -175°	Dec.	
JULY											
4 04.5	23 07.3 N	-0.06	4 05.2	23 08.2 N	1	4 05.4	23 09.0 N	-0.28	4 06.3	23 09.9 N	
3 56.1	22 53.5 N	-0.07	3 56.6	22 54.7 N	4	3 57.0	22 55.8 N	-0.31	3 57.7	22 57.0 N	
3 48.4	22 36.2 N	-0.05	3 48.8	22 37.6 N	7	3 49.2	22 39.1 N	-0.34	3 49.8	22 40.5 N	
3 41.5	22 15.3 N	-0.01	3 41.9	22 17.1 N	10	3 42.3	22 18.8 N	-0.37	3 42.7	22 20.5 N	
3 35.3	21 51.0 N	+0.03	3 36.0	21 53.0 N	13	3 36.2	21 55.0 N	-0.39	3 36.4	21 57.0 N	
3 30.6	21 23.3 N	+0.05	3 31.1	21 25.0 N	16	3 31.1	21 27.9 N	-0.41	3 31.3	21 30.1 N	
3 26.9	20 52.4 N	+0.06	3 27.4	20 55.0 N	19	3 27.2	20 57.5 N	-0.44	3 27.4	21 00.0 N	
3 24.5	20 18.3 N	+0.04	3 24.9	20 21.2 N	22	3 24.5	20 23.8 N	-0.47	3 24.7	20 26.6 N	
3 23.4	19 41.1 N	+0.01	3 23.6	19 44.2 N	25	3 23.0	19 47.1 N	-0.50	3 23.3	19 50.2 N	
3 23.6	19 01.0 N	-0.02	3 23.6	19 04.3 N	28	3 23.0	19 07.5 N	-0.54	3 23.1	19 10.8 N	
AUGUST											
3 26.0	18 03.2 N	-0.03	3 25.6	18 06.8 N	1	3 25.1	18 10.3 N	-0.57	3 25.1	18 13.9 N	
3 29.3	17 16.7 N	-0.02	3 28.8	17 20.5 N	4	3 28.2	17 24.2 N	-0.59	3 28.0	17 28.0 N	
3 33.9	16 27.7 N	+0.02	3 33.4	16 31.6 N	7	3 32.8	16 35.6 N	-0.60	3 32.3	16 39.6 N	
3 39.9	15 36.3 N	+0.06	3 39.2	15 40.4 N	10	3 38.6	15 44.6 N	-0.60	3 38.0	15 48.7 N	
3 47.1	14 42.6 N	+0.09	3 46.5	14 47.0 N	13	3 45.7	14 51.3 N	-0.61	3 44.9	14 55.6 N	
3 55.7	13 46.8 N	+0.11	3 55.0	13 51.4 N	16	3 54.0	13 55.8 N	-0.62	3 53.2	14 00.3 N	
4 05.4	12 49.1 N	+0.11	4 04.7	12 53.9 N	19	4 03.4	12 58.4 N	-0.64	4 02.7	13 03.1 N	
4 16.2	11 49.6 N	+0.09	4 15.4	11 54.5 N	22	4 14.0	11 59.1 N	-0.66	4 13.3	12 04.0 N	
4 28.1	10 48.4 N	+0.06	4 27.2	10 53.3 N	25	4 25.7	10 58.1 N	-0.68	4 24.9	11 03.2 N	
4 40.9	9 45.6 N	+0.03	4 39.8	9 50.6 N	28	4 38.3	9 55.6 N	-0.70	4 37.5	10 00.8 N	
SEPTEMBER											
4 59.2	8 19.8 N	+0.02	4 57.9	8 24.9 N	1	4 56.5	8 30.0 N	-0.71	4 55.6	8 35.4 N	
5 13.7	7 13.9 N	+0.04	5 12.3	7 19.2 N	4	5 10.9	7 24.4 N	-0.70	5 09.9	7 29.8 N	
5 28.7	6 07.0 N	+0.08	5 27.3	6 12.4 N	7	5 26.0	6 17.8 N	-0.69	5 24.7	6 23.2 N	
5 44.1	4 59.2 N	+0.11	5 42.8	5 04.7 N	10	5 41.4	5 10.1 N	-0.68	5 40.1	5 15.6 N	
5 59.9	3 50.7 N	+0.13	5 58.6	3 56.2 N	13	5 57.1	4 01.7 N	-0.67	5 55.8	4 07.2 N	
6 15.8	2 41.5 N	+0.13	6 14.7	2 47.1 N	16	6 13.0	2 52.6 N	-0.67	6 11.7	2 58.2 N	
6 31.9	1 31.9 N	+0.11	6 30.7	1 37.5 N	19	6 29.0	1 43.0 N	-0.68	6 27.8	1 48.7 N	
6 47.9	0 21.9 N	+0.08	6 46.6	0 27.6 N	22	6 44.9	0 33.1 N	-0.68	6 43.8	0 38.8 N	
7 03.6	0 48.1 S	+0.04	7 02.3	0 42.5 S	25	7 00.6	0 37.0 S	+0.69	6 59.6	0 31.2 S	
7 19.0	1 58.3 S	+0.01	7 17.6	1 52.7 S	28	7 16.1	1 47.1 S	+0.68	7 15.1	1 41.3 S	
OCTOBER											
7 33.8	3 08.2 S	0.00	7 32.4	3 02.7 S	1	7 31.0	2 57.1 S	+0.67	7 30.0	2 51.4 S	
7 48.0	4 17.9 S	+0.02	7 46.6	4 12.4 S	4	7 45.4	4 06.8 S	+0.65	7 44.3	4 01.2 S	
8 01.3	5 27.2 S	+0.05	8 00.1	5 21.7 S	7	7 59.0	5 16.1 S	+0.62	7 57.9	5 10.5 S	
8 13.7	6 35.8 S	+0.07	8 12.7	6 30.3 S	10	8 11.6	6 24.8 S	+0.60	8 10.5	6 19.3 S	
8 25.1	7 43.6 S	+0.08	8 24.3	7 38.1 S	13	8 23.2	7 32.8 S	+0.57	8 22.2	7 27.3 S	
8 35.4	8 50.5 S	+0.07	8 34.7	8 45.0 S	16	8 33.6	8 39.8 S	+0.56	8 32.8	8 34.4 S	
8 44.4	9 56.2 S	+0.04	8 43.8	9 50.9 S	19	8 42.8	9 45.7 S	+0.54	8 42.2	9 40.3 S	
8 52.0	11 00.6 S	+0.01	8 51.5	10 55.4 S	22	8 50.5	10 50.3 S	+0.53	8 50.1	10 45.0 S	
8 58.1	12 03.6 S	-0.05	8 57.6	11 58.5 S	25	8 56.9	11 53.5 S	+0.52	8 56.6	11 48.3 S	
9 02.6	13 04.7 S	-0.08	9 02.1	12 59.9 S	28	9 01.6	12 55.0 S	+0.50	9 01.5	12 50.0 S	
NOVEMBER											
9 05.8	14 23.5 S	-0.09	9 05.5	14 18.9 S	1	9 05.4	14 14.2 S	+0.46	9 05.3	14 09.4 S	
9 06.1	15 20.3 S	-0.07	9 06.0	15 15.8 S	4	9 06.1	15 11.2 S	+0.42	9 06.0	15 06.6 S	
9 04.6	16 14.7 S	-0.04	9 04.7	16 10.4 S	7	9 05.0	16 06.0 S	+0.38	9 04.9	16 01.6 S	
9 01.1	17 06.7 S	-0.03	9 01.6	17 02.5 S	10	9 01.9	16 58.4 S	+0.35	9 02.0	16 54.2 S	
8 55.8	17 56.1 S	-0.03	8 56.5	17 52.1 S	13	8 56.9	17 48.2 S	+0.31	8 57.2	17 44.2 S	
8 48.6	18 42.6 S	-0.05	8 49.5	18 38.8 S	16	8 49.9	18 35.2 S	+0.28	8 50.5	18 31.4 S	
8 39.6	19 26.1 S	-0.09	8 40.6	19 22.7 S	19	8 41.1	19 19.2 S	+0.25	8 41.9	19 15.7 S	
8 28.7	20 06.5 S	-0.14	8 29.8	20 03.3 S	22	8 30.5	20 00.1 S	+0.22	8 31.5	19 56.9 S	
8 16.1	20 43.6 S	-0.18	8 17.2	20 40.7 S	25	8 18.1	20 37.8 S	+0.19	8 19.3	20 34.8 S	
8 01.7	21 17.2 S	-0.20	8 02.8	21 14.6 S	28	8 04.1	21 11.9 S	+0.16	8 05.3	21 09.3 S	
DECEMBER											
7 45.6	21 47.3 S	-0.18	7 46.9	21 44.9 S	1	7 48.4	21 42.5 S	+0.12	7 49.6	21 40.1 S	
7 28.1	22 13.5 S	-0.15	7 29.6	22 11.5 S	4	7 31.3	22 09.4 S	+0.08	7 32.5	22 07.3 S	
7 09.3	22 35.9 S	-0.11	7 11.0	22 34.2 S	7	7 12.8	22 32.4 S	+0.04	7 13.9	22 30.6 S	
6 49.3	22 54.3 S	-0.09	6 51.3	22 52.9 S	10	6 53.0	22 51.4 S	0.00	6 54.3	22 50.0 S	
6 28.5	23 08.6 S	-0.08	6 30.6	23 07.6 S	13	6 32.3	23 06.4 S	-0.04	6 33.7	23 05.3 S	
6 06.9	23 18.8 S	-0.09	6 09.1	23 18.1 S	16	6 10.8	23 17.3 S	-0.08	6 12.4	23 16.5 S	
5 44.9	23 24.8 S	-0.12	5 47.1	23 24.4 S	19	5 48.8	23 24.0 S	-0.12	5 50.5	23 23.6 S	
5 22.6	23 26.6 S	-0.15	5 24.7	23 26.6 S	22	5 26.5	23 26.5 S	-0.16	5 28.3	23 26.4 S	
5 00.2	23 24.1 S	-0.17	5 02.2	23 24.4 S	25	5 04.1	23 24.7 S	-0.19	5 05.9	23 25.0 S	
4 38.0	23 17.5 S	-0.17	4 39.9	23 18.1 S	28	4 41.9	23 18.7 S	-0.23	4 43.6	23 19.3 S	

ÉTOILES

Annexe B

A _m 1972,0	correct. annuelle	ÉTOILE	Décl. 1972,0	correct. annuelle	A _m 1972,0	correct. annuelle	ÉTOILE	Décl. 1972,0	correct. annuelle
335 49,9	-0,56	ACHERNAR	57,42,7 S	-0,30	194 29,8	-0,92	DUBHE	64 54,2 N	-0,32
173 44,6	-0,84	ACRUX	62 56,6 S	+0,33	34 17,8	-0,74	ENIF	9 44,8 N	+0,28
291 25,3	-0,86	ALDEBARAN	16 27,2 N	+0,12	159 04,3	-0,79	EPI (L')	11 01,0 S	+0,31
153 23,4	-0,59	ALKAD	49 27,2 N	-0,30	15 58,4	-0,83	FOMALHAUT	29 46,3 S	-0,32
218 26,8	-0,74	ALPHARD	8 32,2 S	+0,26	328 36,2	-0,85	HAMAL	23 19,8 N	+0,28
126 37,5	-0,64	ALPHECCA	26 48,5 N	-0,20	137 18,4	+0,04	KOCHAB	74 16,2 N	-0,25
358 16,0	-0,78	ALPHERATZ	28 56,2 N	+0,33	148 44,6	-0,88	MENKENT	36 14,0 S	+0,29
62 38,7	-0,73	ALTAR	8 47,6 N	+0,16	309 25,3	-1,07	MIRFAK	49 45,8 N	+0,21
113 04,7	-0,92	ANTARES	26 22,3 S	+0,13	76 37,1	-0,93	NUNKI	26 20,0 S	-0,08
146 24,2	-0,68	ARCTURUS	19 19,6 N	-0,31	54 08,4	-1,18	PEACOCK	56 43,6 S	-0,19
108 34,7	-1,59	ATRIA	68 58,7 S	+0,11	244 05,9	-0,92	POLLUX	28 05,7 N	-0,15
271 35,2	-0,81	BÉTELGEUSE	7 24,2 N	+0,01	245 32,4	-0,78	PROCYON	5 17,9 N	-0,16
264 10,0	-0,33	CANOPUS	52 40,8 S	+0,03	96 35,5	-0,70	RAS AL HAGUE	12 34,8 N	-0,04
281 20,7	-1,11	CHÈVRE (LA)	45 58,3 N	+0,06	208 16,8	-0,80	REGULUS	12 06,3 N	-0,29
183 05,5	-0,76	DENEbola	14 43,7 N	-0,34	281 42,1	-0,72	RIGEL	8 14,0 S	-0,07
49 52,9	-0,51	DENEb	45 10,8 N	+0,22	259 01,3	-0,66	SIRIUS	16 40,6 S	+0,08
349 27,2	-0,75	DIPHDA	18 08,4 S	-0,33	81 00,2	-0,51	VEGA	38 45,4 N	+0,06

L.C. MCHLXXXV

11 bis

COORDONNEES HORIZONTALES

AZIMUT ET HAUTEUR

ELEMENTS DE REFERENCE

Les éléments de référence du système des coordonnées horizontales sont :
1° HORIZON et la VERTICALE de la sphère locale géocentrique.

1) La verticale coupe la sphère locale aux points z et n :

- le point z est le zénith
- le point n est le nadir.

2) Tout grand cercle de la sphère locale qui contient la verticale est appelé vertical (au masculin).

3) Le vertical qui contient la ligne des pôles Pn Ps ou axe du monde est le méridien du lieu d'observation. Nous le prendrons comme plan de figure.

4) La ligne des pôles coupe le méridien en deux demi-méridiens :

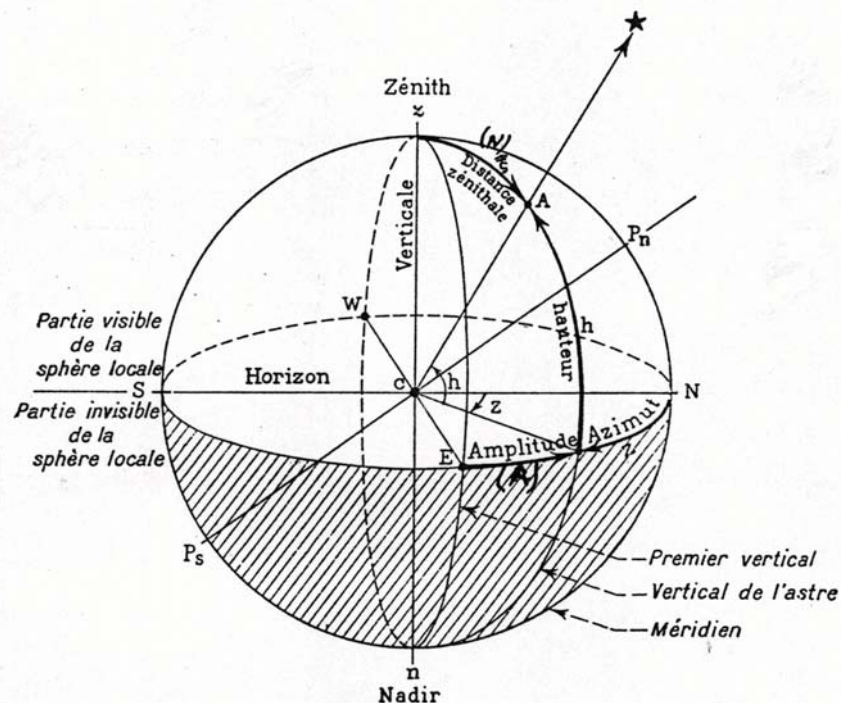
- le méridien supérieur, 1/2 méridien qui contient le zénith,
- le méridien inférieur, 1/2 méridien qui contient le nadir.

5) L'intersection du méridien et de l'horizon se fait suivant la ligne NS dite ligne méridienne ou plus simplement MERIDIENNE;

cette ligne coupe le grand cercle horizon aux 2 points cardinaux NORD "N" et SUD "S".

6) Dans le plan de l'horizon, la perpendiculaire EW à la ligne NS, menée par le centre de la sphère, détermine les 2 autres points cardinaux, l'EST "E" et l'OUEST "W".

7) Le vertical qui contient la ligne EW s'appelle le PREMIER VERTICAL du lieu d'observation.



SPHÈRE LOCALE

Lieu de latitude Nord - Astre à l'Est

TABLE II Y Annexes A, B

Nombre	A	B	C	D	E	Nombre	A	D	E
	quotient	Jour	heure	min	sec		quotient	min	sec
1	1'8	0°59'1	15°02'5	0°15'0	0'2	32	58'9	8°01'3	8'0
2	3'7	1°58'3	30°04'9	0°30'1	0'5	33	1°00'7	8°16'4	8'2
3	5'5	2°57'4	45°07'4	0°45'1	0'8	34	1°02'6	8°31'4	8'5
4	7'4	3°56'6	60°09'9	1°00'2	1'0	35	1°04'4	8°46'4	8'8
5	9'2	4°55'7	75°12'3	1°15'2	1'2	36	1°06'2	9°01'5	9'0
6	11'0	5°54'8	90°14'8	1°30'2	1'5	37	1°08'1	9°16'5	9'2
7	12'9	6°54'0	105°17'2	1°45'3	1'8	38	1°09'9	9°31'6	9'5
8	14'7	7°53'1	120°19'7	2°00'3	2'0	39	1°11'8	9°46'6	9'8
9	16'6	8°52'3	135°22'2	2°15'4	2'2	40	1°13'6	10°01'6	10'0
10	18'4	9°51'4	150°24'6	2°30'4	2'5	41	1°15'4	10°16'7	10'2
11	20'2	10°50'5	165°27'1	2°45'5	2'8	42	1°17'3	10°31'7	10'5
12	22'1	11°49'7	180°29'6	3°00'5	3'0	43	1°19'1	10°46'8	10'8
13	23'9	12°48'8	195°32'0	3°15'5	3'2	44	1°21'0	11°01'8	11'0
14	25'8	13°48'0	210°34'5	3°30'6	3'5	45	1°22'8	11°16'8	11'2
15	27'6	14°47'1	225°37'0	3°45'6	3'8	46	1°24'6	11°31'9	11'5
16	29'4	15°46'2	240°39'4	4°00'7	4'0	47	1°26'5	11°46'9	11'8
17	31'3	16°45'4	255°41'9	4°15'7	4'2	48	1°28'3	12°02'0	12'0
18	33'1	17°44'5	270°44'4	4°30'7	4'5	49	1°30'2	12°17'0	12'2
19	35'0	18°43'7	285°46'8	4°45'8	4'8	50	1°32'0	12°32'1	12'5
20	36'8	19°42'8	300°49'3	5°00'8	5'0	51	1°33'8	12°47'1	12'8
21	38'6	20°41'9	315°51'7	5°15'9	5'2	52	1°35'7	13°02'1	13'0
22	40'5	21°41'1	330°54'2	5°30'9	5'5	53	1°37'5	13°17'2	13'2
23	42'3	22°40'2	345°56'7	5°45'9	5'8	54	1°39'4	13°32'2	13'5
24	44'2	23°39'4	360°59'1	6°01'0	6'0	55	1°41'2	13°47'3	13'8
25	46'0	24°38'5		6°16'0	6'2	56	1°43'1	14°02'3	14'0
26	47'8	25°37'6		6°31'1	6'5	57	1°44'9	14°17'3	14'2
27	49'7	26°36'8		6°46'1	6'8	58	1°46'8	14°32'4	14'5
28	51'5	27°35'9		7°01'1	7'0	59	1°48'6	14°47'4	14'8
29	53'4	28°35'1		7°16'2	7'2	60	1°50'4	15°02'5	15'0
30	55'2	29°34'2		7°31'2	7'5				
31	57'0	30°33'3		7°46'3	7'8				

COORDONNEES HORIZONTALES

TABLE I

entree avec

POINT VERNAL (Y)			
0	1	Mois	2 3
98 46,2	99 31,0	JANVIER	99 16,7 99 02,4
129 19,5	130 04,4	FEVRIER	129 50,1 129 35,7
157 54,5	157 40,3	MARS	157 25,9 157 11,6
188 27,8	188 13,5	AVRIL	187 59,2 187 44,9
218 02,0	217 47,7	MAI	217 33,4 217 19,0
248 35,3	248 21,0	JUIN	248 06,7 247 52,3
278 09,5	277 55,2	JUILLET	277 40,9 277 26,5
308 42,8	308 28,5	AOÛT	308 14,2 307 59,8
339 16,1	339 01,8	SEPTEMBRE	338 47,5 338 33,1
8 50,3	8 36,0	OCTOBRE	8 21,6 8 07,3
39 23,6	39 09,2	NOVEMBRE	38 54,9 38 40,6
68 57,7	68 43,4	DECEMBRE	68 29,1 68 14,7

PARTIES DÉCIMALES DE L'ANNÉE

DÉCIMALE	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Jour de l'année	1 JANV. 18 JANV.	19 JANV. 23 FÉVR.	24 FÉVR. 1 AVRIL	2 AVRIL 7 MAI	8 MAI 13 JUIN	14 JUIN 19 JUILLET	20 JUILLET 25 AOÛT	26 AOÛT 30 SEPT.	1 OCTOBRE 6 NOV.	7 NOV. 13 DÉC.	13 DÉC. 31 DÉC.

1) L'AZIMUT "Z"

compté sur l'Horizon

de 0° à 360°

dans le sens rétrograde (montre)

à partir du NORD.

2) La HAUTEUR "H"

comptée sur le Vertical de l'astre

de 0° à 90°

à partir de l'Horizon,

positivement vers le zénith.

Dans certaines tables on remplace souvent l'azimut par l'AMPLITUDE "A" et la hauteur par la DISTANCE ZENITHALE "N".

- L'AMPLITUDE

comptée sur l'Horizon

de 0° à 90°

à partir du point E, ou du point W

positivement vers le Nord, négativement vers le Sud.

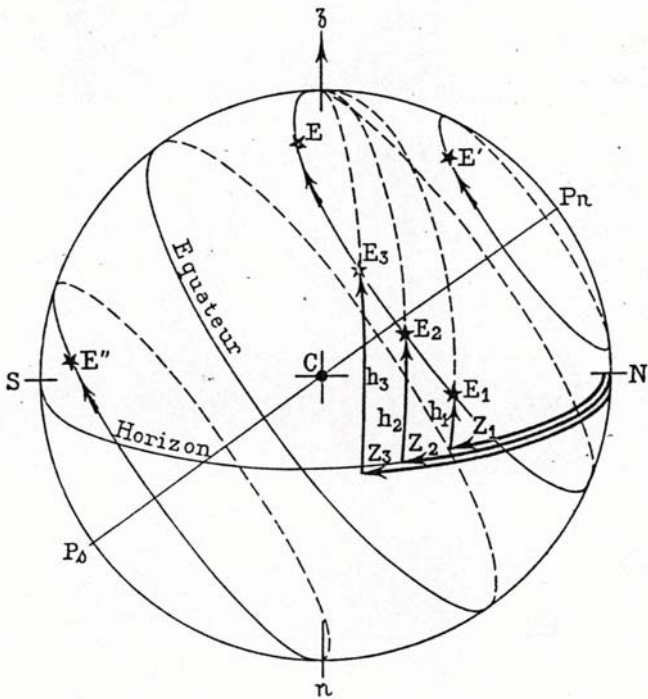
- La DISTANCE ZENITHALE "N"

comptée sur le Vertical de l'astre,

de 0° à 180°

à partir du zénith.

Représentation du mouvement diurne sur la sphère locale.



SPHÈRE LOCALE

Lieu de latitude Nord - Astres à l'Est.

Annexes A - B

Table des étoiles :

1) Entrer avec le nom de l'étoile. La table donne l'ascension vers α_a et la déclinaison δ_a pour 1972,0 avec la correction annuelle (+ ou -) pour ces deux éléments.

2/ 6^{ter} 1972 de l'année considérée (~~avec~~ dixièmes d'année).
Multiplier la correction annuelle par la différence trouvée.
Appliquer les corrections aux H_a et S_a trouvées dans la
table des étoiles.

On obtient l'angle horaire de l'étoile en ajoutant
 $A_{\text{so}} \text{ à } A_{\text{va}} \therefore A_{\text{ao}} = A_{\text{so}} + A_{\text{va}}$

Exemple: Trouver A_a et Δ_a de l'Epi le 11 sept^{bre} 2011.

- De la table des dixièmes d'année on tire :

11 septembre = 0,7 et 2011,7 - 1972 = 39,7 ans

- Table des étoiles :

L'Épi	Ala	com.	D	com.
1972,0	159°04'3	(-0,79)	11°01'05	(+0,31)
39,7 x (-0,79) = - 31'4			39,7 x 0,31 = +12'3	
	158°32'9			11°13'3

1. The first part of the document is a list of names and their corresponding dates. The names are listed in a column on the left, and the dates are listed in a column on the right. The names are: John Doe, Jane Smith, and Bob Johnson. The dates are: 1/1/2020, 2/1/2020, and 3/1/2020.

2. The second part of the document is a table with two columns. The first column is labeled "Name" and the second column is labeled "Date". The table contains the following data:

Name	Date
John Doe	1/1/2020
Jane Smith	2/1/2020
Bob Johnson	3/1/2020

3. The third part of the document is a list of names and their corresponding dates. The names are listed in a column on the left, and the dates are listed in a column on the right. The names are: John Doe, Jane Smith, and Bob Johnson. The dates are: 1/1/2020, 2/1/2020, and 3/1/2020.

4. The fourth part of the document is a table with two columns. The first column is labeled "Name" and the second column is labeled "Date". The table contains the following data:

Name	Date
John Doe	1/1/2020
Jane Smith	2/1/2020
Bob Johnson	3/1/2020

5. The fifth part of the document is a list of names and their corresponding dates. The names are listed in a column on the left, and the dates are listed in a column on the right. The names are: John Doe, Jane Smith, and Bob Johnson. The dates are: 1/1/2020, 2/1/2020, and 3/1/2020.

6. The sixth part of the document is a table with two columns. The first column is labeled "Name" and the second column is labeled "Date". The table contains the following data:

Name	Date
John Doe	1/1/2020
Jane Smith	2/1/2020
Bob Johnson	3/1/2020

7. The seventh part of the document is a list of names and their corresponding dates. The names are listed in a column on the left, and the dates are listed in a column on the right. The names are: John Doe, Jane Smith, and Bob Johnson. The dates are: 1/1/2020, 2/1/2020, and 3/1/2020.

8. The eighth part of the document is a table with two columns. The first column is labeled "Name" and the second column is labeled "Date". The table contains the following data:

Name	Date
John Doe	1/1/2020
Jane Smith	2/1/2020
Bob Johnson	3/1/2020

9. The ninth part of the document is a list of names and their corresponding dates. The names are listed in a column on the left, and the dates are listed in a column on the right. The names are: John Doe, Jane Smith, and Bob Johnson. The dates are: 1/1/2020, 2/1/2020, and 3/1/2020.

10. The tenth part of the document is a table with two columns. The first column is labeled "Name" and the second column is labeled "Date". The table contains the following data:

Name	Date
John Doe	1/1/2020
Jane Smith	2/1/2020
Bob Johnson	3/1/2020

CALCUL A LONG TERME DES ÉLÉMENTS DU POINT VERNAL
ET DES ÉTOILES (A₁₈₀, A_{1a}, D_a)

On considère que l'angle horaire du point vernal redescend approximativement le même tous les quatre ans, à la correction constante près de $+1'84$.

Dans les tables suivantes on trouvera l'angle horaire A₁₈₀ du point γ pour chaque mois du cycle de quatre ans. Des corrections, de $0^{\circ}59'14''$ par jour, $15^{\circ}02'5''$ par heure, $15''$ par minute, et $15''$ par seconde sont fournies afin d'obtenir l'A₁₈₀ à un instant donné.

La correction de $+1'84$ par quatre années est à appliquer à l'année de base, 1972 dans ces tables.

Utilisation des tables:

1) Ôter 1972 de l'année considérée et diviser la différence trouvée par 4. On obtient un quotient Q et un reste R.

Entrer dans la table I avec le reste R et prendre la valeur pour le mois considéré.

2) Entrer dans la table II avec le quotient Q trouvé en 1), le jour du mois, l'heure TU, les minutes, et les secondes.

On trouve les corrections A, B, C, D, E à ajouter à la table I pour obtenir A₁₈₀.

Exemple: Trouver A₁₈₀ le 28 novembre 1980 à 11h 06^m 33^s TU.

1) 1980 - 1972 = 8	8 : 4 = 2 reste 0	→ Table I :	39° 23' 6"
2)	Q = 2 donne A	→ Table II :	3' 7"
	jour : 28	" B	→ " 27° 35' 9"
	Heure : 11	" C	→ " 165° 27' 1"
	Minutes : 6	" D	→ " 1° 30' 2"
	Secondes : 33	" E	→ " 8' 2"
		A ₁₈₀	73° 10' 10"

REPRÉSENTATION DU MOUVEMENT DIURNE SUR LA SPHÈRE LOCALE

La connaissance du système des coordonnées horizontales fournit un moyen de représentation géométrique du mouvement diurne sur la sphère locale.

Supposons que l'observateur terrestre ait à sa disposition un instrument qui lui permette de mesurer les coordonnées horizontales des astres; à intervalles de temps réguliers, il vise une étoile E et mesure ses azimuts Z₁, Z₂, Z₃ ..., et ses hauteurs H₁, H₂, H₃ ...

Au moyen de ces coordonnées, il peut placer aux différents instants, l'étoile E sur la sphère locale. Si E₁, E₂, E₃ sont les différentes positions ainsi obtenues, la trajectoire de l'étoile sur la sphère locale est le lieu de ces points.

En poursuivant ces opérations, il constate que l'étoile E décrit un cercle de la sphère locale, dans le sens rétrograde, d'un mouvement uniforme (arcs E₁E₂, E₂E₃, etc... égaux entre eux s'ils sont parcourus dans des intervalles de temps égaux).

S'il observe également les coordonnées horizontales d'autres étoiles E', E'' ..., il constate que les cercles décrits par les différentes étoiles sont parallèles entre eux.

C'est cette propriété qui fait donner aux lieux géométriques des projections des étoiles sur la sphère locale le nom de parallèles diurnes.

Tous les cercles diurnes, étant parallèles, ont les mêmes pôles. (voir éléments de Géométrie Sphérique) Le pôle que, dans les lieux de l'hémisphère Nord, l'on voit au-dessus de l'horizon est le POLE NORD "P_n" de la sphère locale (ou encore POLE NORD CELESTE); l'autre que l'on voit au-dessus de l'horizon dans les lieux de l'hémisphère Sud, en est le POLE SUD "P_s" (ou encore, POLE SUD CELESTE).

Il est évident que la ligne de ces pôles célestes PnPs n'est autre que l'axe de rotation de la Terre prolongé, puisque le mouvement diurne apparent est causé par la rotation de la Terre.

Le grand cercle de la sphère locale normal à la ligne des pôles, - qui peut être également défini comme le parallèle céleste qui passe par le centre de la sphère, - est l'EQUATEUR de la sphère locale, ou EQUATEUR CELESTE.

Nous allons maintenant définir un autre système de coordonnées locales mieux adapté que celui des coordonnées horizontales à la représentation du mouvement diurne.

Ce système, dit des coordonnées horaires, est basé sur deux propriétés fondamentales du mouvement diurne:

- l'uniformité du déplacement des étoiles sur leurs parallèles diurnes, propriété qui permet de définir le TEMPS;
- l'équidistance angulaire aux pôles de toutes les positions qu'une étoile peut occuper au cours du mouvement diurne.

La première propriété nous amènera à définir l'ANGLE HORAIRE, la seconde à définir la distance polaire et la DECLINAISON.

Ce sera l'objet du prochain exposé que j'aurai le plaisir de vous faire.

que ce seront toujours les Ephémérides Astronomiques qui auront le dernier mot, car étant les plus précises. Mais sans Ephémérides vous arriverez quand même à vous débrouiller, et c'est un peu là le but de l'exposé d'aujourd'hui.

Louis CAMPION

Capitaine au Long Cours

Mars 1988

les données concernant la date et même l'heure désirée à l'avance, et d'emporter avec soi les feuilles de données.

La précision varie selon les programmes, elle colle de plus près aux Ephémérides Astronomiques pour les planètes les plus proches : Mercure, Venus, Mars, Jupiter, Saturne, ainsi que pour le Soleil. Je n'ai pas fait le contrôle pour la Lune.

Je vous livre en annexe **F** (qu'est-ce qu'il y a comme trucs en annexe!!!) quelques éléments obtenus ainsi sur Apple //c et concernant les premières heures de la journée du 12 mars 1988. Les interpolations sont faciles!

Si quelqu'un le désire, je pourrai lui fournir le listing de ce programme (établi pour Apple) ou même éventuellement lui fournir une copie du programme que j'ai l'intention de franciser et de mettre en degrés en ce qui concerne les AR que je transformerai en AV. Et pourquoi pas en y adjoignant un programme de Temps Sidéral lui faire donner les Angles Horaires directement pour les astres considérés.

Mais ceci est une autre histoire!!!! Car c'est moi qui ferais tout le travail alors que vous devez apprendre à le faire!!!

Avec tous ces éléments vous aurez de quoi vous amuser et occuper vos loisirs, vous allez pouvoir trouver pour de longues années:

- le temps sidéral
- l'angle horaire et la déclinaison d'une étoile
- la même chose pour le Soleil
- - - - les planètes
- - - - la lune.

Vous sortirez cela de différents ouvrages, ou vous les calculerez vous même. Vous allez pouvoir comparer les résultats afin de juger de la précision de telle ou telle méthode, ainsi que de sa facilité d'utilisation. Dites-vous bien

LES COORDONNÉES THÉRIKES

Nous avons fait la dernière fois un survol rapide de la géométrie sphérique avec la façon de positionner un point à la surface d'une sphère: coordonnées sphériques (appellation générale)

Nous avons appliqué le système à la sphère terrestre: coordonnées géographiques (Latitude & Longitude) et à la sphère locale: coordonnées horizontales (Azimut & Hauteur).

Nous allons continuer aujourd'hui l'étude de la sphère locale, par celle des coordonnées horaires.

Les coordonnées horizontales, liées à des repères terrestres fixes dans l'environnement de l'observateur sont idéales pour positionner un astre par rapport à cet environnement; ex. VEGA : $Z = 135^\circ$, $H = 63^\circ$, on sait par où se tourner et à quelle hauteur lever le nez pour l'apercevoir de chez soi. (à l'instant considéré s'entend!).

Si nous voulons suivre le mouvement diurne nous devons faire appel à un autre système de coordonnées locales: les coordonnées horaires, qui sont liées à des repères célestes, dont l'un est cependant dépendant du lieu de l'observation.

5) (Pour GHA seulement) A = 255°00'0
Annexe H
 B = 3°15'0
 C = 12'1

6) 0h00 GMT le 16/7 AH = 178°31'5 21°25'0
 17h 13m 49s le 18/7 436°55'1 20°57'5
- 360°

Le 18/7/2002 à 17h13m49sTU AH = 76°55'1 D = 20°57'5 N

La méthode paraît longue et le cheminement difficile. Pourtant il n'y a que des opérations simples. Il faut de la méthode et vous faire un type de calcul sur un bristol, vous verrez que cela ira vite et vous deviendra familier.

5 - D) TABLE SOLAIRE PERMANENTE N°2 :

Même but que la précédente, autre méthode, peut-être plus rapide. Chacun pourra choisir selon ses goûts.

(voir les explications en annexe **D**)

Avec tous les renseignements que je vous ai fournis, vous aurez de quoi vous amuser à faire des calculs. Essayez d'en faire le plus possible et de comparer avec des résultats que vous pourriez avoir à votre disposition.

Voici quelques éléments qui concernent l'année 1980:

13 avril 1980 à 06h32m25s	: Point vernal	AHso = 299°42'3	
20 sept. 1980 à 10h24m12s	: Point vernal	AHso = 155°30'8	
24 janv. 1980 à 17h44m39s	: SIRIUS	AHao = 288°18'1	D = 16°41'5 S
9 févr. 1980 à 16h30m12s	: SOLEIL	AHvo = 63°59'6	D = 14°48'2 S
14 juin 1980 à 07h18m23s	: SOLEIL	AHvo = 289°33'2	D = 23°16'4 N

Retrouvez-les par les moyens que je vous ai exposés.

Une différence de quelques dixièmes de ' est possible entre vos

COORDONNEES HORAIRES

ANGLE HORAIRE ET DECLINAISON

ELEMENTS DE REFERENCE

Les éléments de référence du système de coordonnées horaires sont: l'EQUATEUR CELESTE et le CERCLE HORAIRE.

1) La ligne des pôles coupe la sphère locale aux points Pn et Ps, les pôles célestes Nord et Sud. Le pôle que l'on voit au-dessus de l'horizon est le pôle élevé (il peut être Nord ou Sud); celui qui est sous l'horizon est le pôle abaissé. (Nord ou Sud également)

2) Un cercle horaire est un grand cercle qui passe par les deux pôles.

3) Le cercle horaire qui passe par le zénith du lieu d'observation est le MERIDIEN du lieu.

(Nous le prenons toujours comme plan de figure)

Le méridien est à la fois un cercle horaire et un vertical, voici la dépendance entre le ciel et la terre dans le système présent.

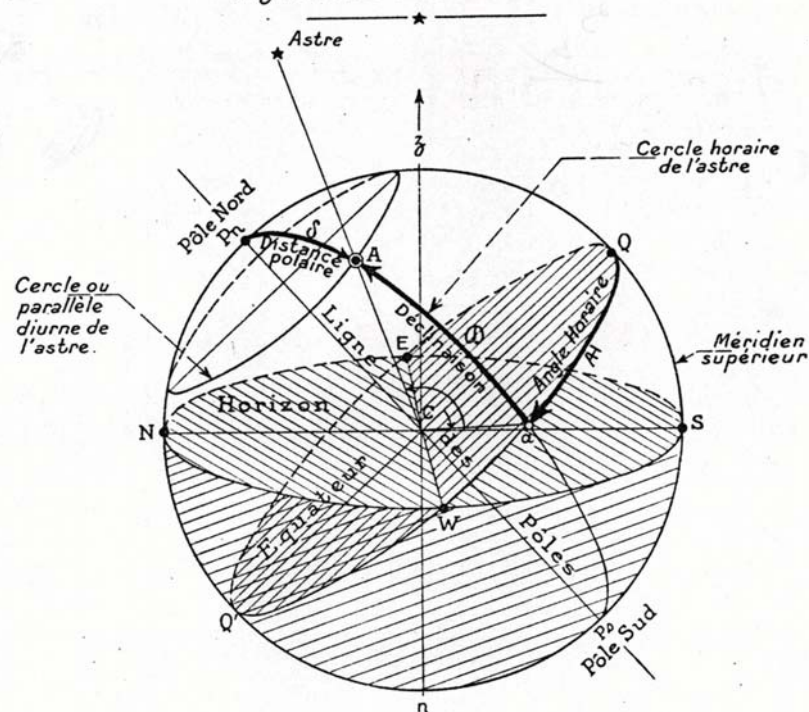
4) Le méridien coupe l'équateur suivant la ligne QQ'.

5) L'horizon et l'équateur se coupent suivant la ligne EW (Est/Ouest).

6) L'angle que fait la verticale avec l'équateur est la Latitude du lieu, qui si on considère l'égalité d'angles à côtés perpendiculaires est le même que celui pôle élevé/horizon, d'où: La hauteur du pôle élevé au-dessus de l'horizon est égale à la Latitude du lieu. Définition très importante à savoir. Dans nos régions, la hauteur de l'étoile polaire donne la latitude.

COORDONNÉES HORAIRES

Angle Horaire et Déclinaison



SPHÈRE LOCALE

Lieu de latitude Nord - Astre à l'Ouest.

6) Appliquer les corrections obtenues points 4) et 5) à la date la plus faible pour corriger la valeur du point 2)

*** Pour Déclinaison, négliger le point 5)

EXEMPLE :

Trouver l'angle horaire à Greenwich (AH_{vo}) et la Déclinaison (D) du Soleil à :

17h 13m 49s le 18 juillet 2002

1) 2002 - 1972 = 30 ==> 30/4 = 7 reste 2, donc Q = 7 et R = 2

J'entre dans la table solaire colonne 2 (car reste = 2)

Je relève:

	GHA - 175°	Quadr.GHA	Dec	Quadr.Dec.
16 juillet	3°31'1	+ 0,05	21°27'9 N	- 0,41
19 juillet	3°27'2	+ 0,06	20°57'5 N	- 0,44

2) Je multiplie les corr. quadr. par 7 (car le quotient est 7) et je les ajoute avec leur signe aux "GHA - 175°" et aux "Dec."

	* AH *	* D *
16/7	$3^{\circ}31'1 + (7 \times 0,05) + 175^{\circ} = 178^{\circ}31'5$	$21^{\circ}27'9 \text{ N} - (7 \times 0,41) = 21^{\circ}25'0 \text{ N}$
19/7	$3^{\circ}27'2 + (7 \times 0,06) + 175^{\circ} = 178^{\circ}27'6$	$20^{\circ}57'5 \text{ N} - (7 \times 0,44) = 20^{\circ}54'4 \text{ N}$
Variation pour 3 jours =	- 3'9	- 30'6

3) Divisé par 3 = Variation/jour : - 1'3

4) Jours et dixièmes (entre 0h le 2,7

16 et 17h14m le 18/7)

Correction = 2,7 x var./jour = - 3'5

- 10'2

2,7

- 27'5

5 - C) TABLE SOLAIRE PERMANENTE N° 1: (Annexe C)

Basée sur le principe des 2 précédentes.

On agit comme pour les étoiles, (donc voir comment on agit avec les étoiles avant d'aborder l'étude du soleil).

1) On soustrait 1972 de l'année considérée et l'on divise le résultat par 4.

On obtient un quotient Q et un reste R.

Entrer dans la table solaire "SUN" avec le reste R (0,1,2 ou 3 en haut de la table) et prendre les éléments fournis de part et d'autre de la date (donnée de 3 en 3 jours):

GHA - 175° * Quadr. GHA corr. * Dec. * Quadr. Dec. corr.

qui sont :

Angle hor. - 175°	* Correction quadriennale	* Déclinaison	* Correction quadriennale
	à l'angle horaire		à la déclinaison

2) Multiplier les corrections quadriennales (à GHA et à D) trouvées pour chaque date (celle d'avant et celle d'après la date considérée) par le quotient Q de la division effectuée plus haut et ajouter le résultat aux "GHA - 175°" et "Dec." relevés. On en profitera pour ajouter à ce moment 175° aux "GHA - 175°" pour avoir GHA.

3) Diviser la différence entre les 2 GHA et les 2 Dec. trouvés par le nombre de jours (généralement 3) qui les séparent pour avoir la variation journalière.

4) Multiplier cette variation journalière par le nombre de jours et dixièmes depuis 0h00 GMT de la 1ère date en respectant le signe de la correction. (Dixièmes de jours obtenus sur table jointe en annexe)

5) Concerne angle horaire seulement.

L'annexe H (Transformation Heures → °)

Entrer dans ~~la table 11 (la même que celle du point vernal)~~ avec l'heure, les minutes et les secondes GMT de l'observation et prendre les corrections A, B, C (toujours positives)

COORDONNEES HORAIRES

1) L'ANGLE HORAIRE "AH"

compté sur l'Equateur

de 0° à 360°,

dans le sens rétrograde (montre)

à partir du point Q du méridien supérieur.

2) LA DECLINAISON "D"

comptée sur le cercle horaire de l'astre

de 0° à 90°

à partir de l'Equateur

positivement vers le pôle Nord,

négativement vers le pôle Sud.

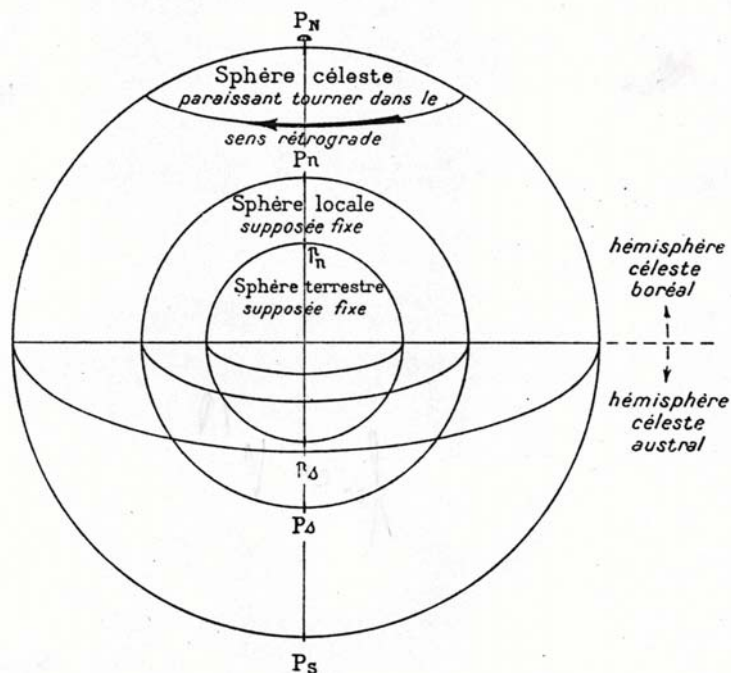
En Navigation on remplace l'angle horaire par l'ANGLE AU POLE, angle dièdre, toujours plus petit que 180°, formé par le méridien supérieur avec le cercle horaire de l'astre.

On passe de AH à P:

astre à l'ouest: $P = AH$; astre à l'est: $P = 360° - AH$

On remplace parfois la déclinaison par son complément algébrique à 90°, la DISTANCE POLAIRE : δ (delta), elle est comptée à partir du pôle Nord, de 0° à 180° et a l'avantage de ne pas comporter de signe. On passe de D à δ au moyen de:

$$D + \delta = 90°$$



SPHÈRE CÉLESTE GÉOCENTRIQUE

Le développement succinct que je vous en donne a pour but de vous montrer ce que l'on peut faire comme calculs, comme raisonnements, comme recherches à l'aide des triangles sur la sphère céleste.

Après avoir trouvé AR il faudra faire :

(comme $T_{so} = S.T.$) $T_{so} - AR$ pour avoir l'angle horaire AH

$$AH_{so} = T_{so} - AR$$

$$AH_{sg} = T_{so} - AR - G$$

pour faire les calculs au point de longitude G.

5) TABLES PERMANENTES:

Nous allons maintenant étudier l'emploi de tables de poche, compilées par-ci par-là par moi-même. Elles nous donneront de bons résultats sur les étoiles et le soleil, mais hélas! ni sur la lune, ni sur les planètes.

Leur avantage : elles tiennent dans une poche, elles sont permanentes, elles sont faciles d'emploi avec interpolations inexistantes ou presque, elles sont gratuites car je vous les offre, et c'est moi qui les ai découvertes au cours de mes nombreuses recherches particulièrement dans des ouvrages américains. Elles sont peu connues.

5 - A) TABLE DU POINT VERNAL:

Qui permet de trouver jusqu'en l'an 2216, le temps sidéral de Greenwich en degrés pour n'importe quelle heure du jour (pas d'interpolation).

(Voir annexe A)

5 - B) TABLE DES ÉTOILES:

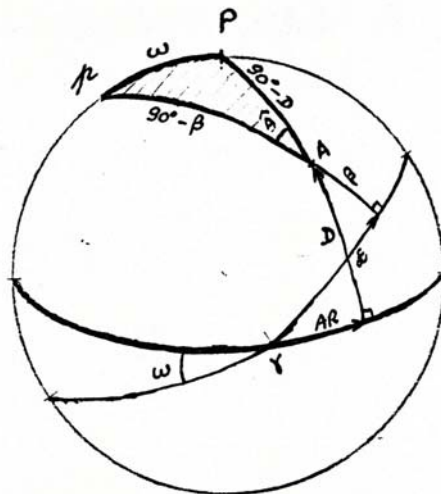
Qui complète la précédente pour trouver l'angle horaire de 34 étoiles brillantes ainsi que leur déclinaison. Les corrections aux déclinaisons sont à appliquer aux valeurs absolues de celles-ci : $D=46^{\circ}51' S$ corr.= $-3^{\circ}0'$ on aura : $D=46^{\circ}48' S$. Ne pas tenir compte de D nord + et D sud - (voir annexe B)

Il va falloir considérer le triangle formé entre les pôles :

- pôle de l'équateur "P"
- pôle de l'écliptique "p"

et l'astre A.

On y retrouve des éléments communs aux deux systèmes, mais il va nous falloir passer par l'intermédiaire de l'angle A pour arriver au résultat.



Coordonnées horaires : AR et D

Coordonnées écliptiques : epsilon et b

Données : epsilon, D, w

Inconnues : b, AR

(w = obliquité de l'écliptique)

On va chercher la valeur de l'angle A

$$\sin A = \cos \epsilon \cdot \sin w / \cos D$$

L'angle A trouvé on fait:

$$\tan \left(\frac{90 + AR}{2} \right) = \cotg \left(\frac{90 - \epsilon - A}{2} \right) \times \frac{\sin \left(\frac{90 - D - w}{2} \right)}{\sin \left(\frac{90 - D + w}{2} \right)}$$

d'où l'on tire AR.

(Je vous fais grâce de la relation qui donne "b")

Pour lever toute ambiguïté, rappelez-vous que AR n'est pas très éloigné, en valeur, de epsilon.

Le seul moyen simple de résoudre ce problème, à mon avis, est de le programmer sur calculette ou micro-ordinateur.

LA SPHERE CELESTE

Les groupes d'étoiles, ou constellations, forment des figures immuables et leur mouvement apparent sur la sphère locale est un mouvement d'ensemble.

Pour un observateur terrestre, les étoiles sont fixées sur une sphère, de très grand rayon, tournant d'un mouvement régulier autour de la ligne des pôles: l'axe du monde.

D'où notion de SPHERE CELESTE, encore appelée sphère étoilée ou sphère des fixes.

Cette sphère est absolument indépendante de tout élément local, elle ne dépend en rien de la position de l'observateur à la surface du globe terrestre.

LES DEUX SYSTEMES DE COORDONNEES CELESTES

1) Sur la sphère locale la position d'une étoile est définie, on l'a vu, soit par ses coordonnées horizontales (Azimut et Hauteur), constamment variables,

soit par ses coordonnées horaires (Angle Horaire et Déclinaison), dont l'un, l'angle horaire est également variable d'un instant à l'autre, mais d'une manière uniforme.

Les coordonnées locales ne sont pas les mêmes pour des lieux différents d'observation.

Au contraire, lorsque nous repérons les étoiles sur la sphère céleste, nous le faisons au moyen de coordonnées qui,

- d'une part sont les mêmes dans tous les lieux d'observation,
- d'autre part, sont pratiquement invariables au cours d'un certain intervalle de temps.

Ces coordonnées peuvent donc figurer dans des Tables ou dans des Catalogues d'Etoiles (Ephémérides diverses)

2) Pour déterminer un système de coordonnées célestes on prend comme premier élément de référence l'axe de rotation de la sphère céleste ou LIGNE DES POLES, le second élément est le grand cercle qui lui est perpendiculaire : l'EQUATEUR CELESTE.

Un tel système est appelé système des coordonnées équatoriales, il est employé par astronomes, marins et aviateurs pour situer les étoiles sur la sphère céleste. (et sur les cartes du ciel)

3) Quand il s'agit d'étudier le mouvement des astres du système solaire, soleil, lune, planètes on prend comme éléments du système de repérage:

- le plan de l'Ecliptique,
- la ligne des pôles de l'Ecliptique.

C'est le système des coordonnées écliptiques.

COORDONNEES EQUATORIALES

ASCENSION DROITE ET DECLINAISON

ELEMENTS DE REFERENCE

Les éléments de référence de ce système sont, l'EQUATEUR et le CERCLE de DECLINAISON.

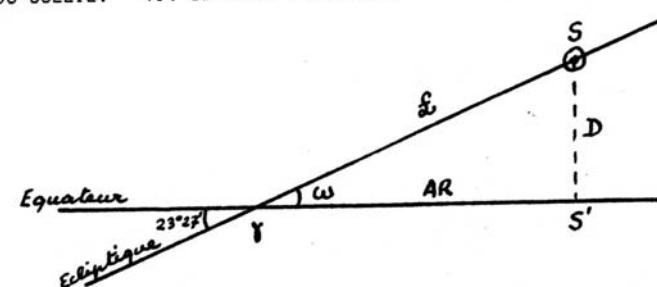
- 1) Ligne des pôles coupe la sphère céleste en Pn et Ps.
- 2) Tout grand cercle de la sphère céleste qui passe par les pôles est appelé cercle de déclinaison ou méridien céleste.

Tout petit cercle parallèle à l'équateur est appelé parallèle céleste.

- 3) L'Equateur céleste et l'Ecliptique (ou trajectoire apparente du Soleil sur la sphère céleste) se coupent en deux points γ & γ' (gamma et gamma prime).

CECI EST TRES IMPORTANT: le point γ (gamma), encore appelé point vernal, joue un rôle particulièrement important, car il sert de point origine dans les deux systèmes de coordonnées célestes.

CAS DU SOLEIL: (et du noeud ascendant)



$$\text{Tang } AR = \text{Tang } \epsilon \cos w$$

si on prend :

$$w = 23^\circ 27'$$

$$\cos w = 0,917454$$

$$\text{si } \epsilon = 20^\circ 37' 58'' \quad (\text{POI}) \quad \text{=====} \quad 350^\circ 37' 58''$$

$$\text{Tang } \epsilon = -0,16496122$$

d'où

$$AR = 351^\circ 23' 38''$$

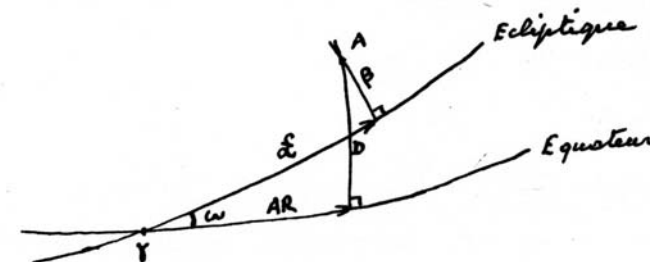
Règle de signe:

$$\text{si } \text{Tang } AR > 0 \quad \text{=====} \quad AR = AR \text{ ou } 180^\circ + AR$$

$$\text{si } \text{Tang } AR < 0 \quad \text{=====} \quad AR = 180^\circ - AR \text{ ou } 360^\circ - AR$$

Prendre l'angle AR le plus proche de ϵ

CAS DES PLANETES:



Ci-dessus, situation telle qu'elle se présente au voisinage du point vernal.

On connaît ϵ et D , et il faut trouver AR (et éventuellement " b ")

Aucun triangle simple de cette zone du ciel ne contient deux éléments connus ou cherchés.

Comme en astronomie on compte les longitudes célestes de 0° à 360° depuis le point vernal dans le sens direct, il va falloir avant toute chose transformer les données astrologiques en données astronomiques en rendant à chaque signe sa valeur scientifique tel que ci-dessous:

Υ BE	0°	Ω LI	120°	$\♈$ SA	240°
$\var�$ TAU	30°	$\♊$ VI	150°	$\♋$ CA	270°
$\♈$ GE	60°	Ω BA	180°	$\♌$ VER	300°
$\♉$ CAN	90°	$\♍$ SCO	210°	$\♎$ POI	330°

Pour avoir $\mathcal{L}$ vrai, faire: $\mathcal{L}$ éphémérides + " signe.

Exemple: $01 \text{ } \♌ 10 = 01^\circ 10' + 300^\circ = 301^\circ 10'$

Le passage des longitudes célestes $\mathcal{L}$ aux ascensions droites AR n'est aisé qu'en ce qui concerne le soleil, car cet astre parcourt l'écliptique, et par conséquent sa latitude céleste (sa distance à l'écliptique) est toujours nulle.

Nous sommes dans un cas limite où les formules de trigo se simplifient: $\cos 0^\circ = 1$, $\sin 0^\circ = 0$, $\tan 0^\circ = 0$.

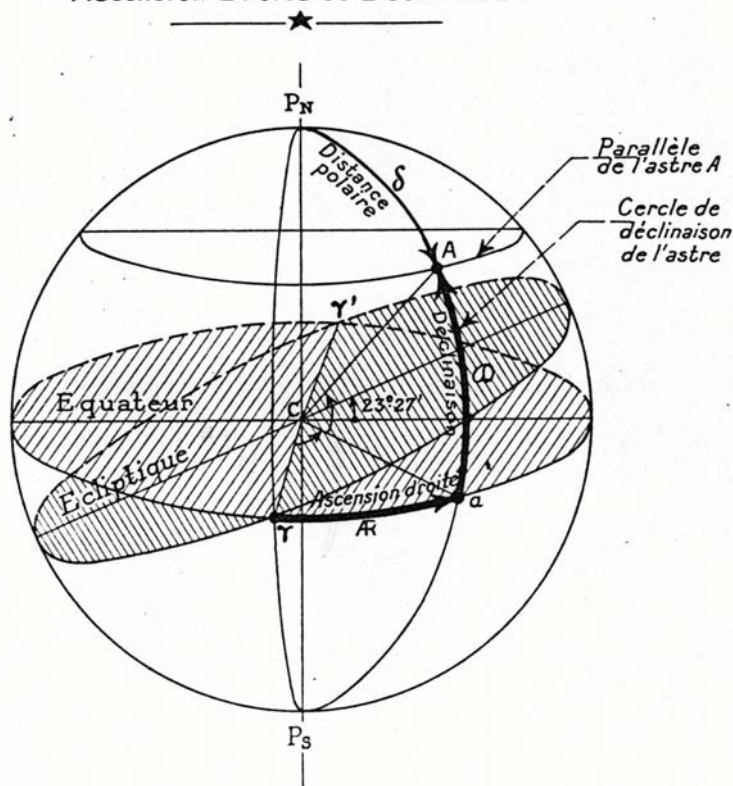
Il en est de même du noeud ascendant toujours sur l'équateur (par définition).

Mais pour les planètes qui ne sont ni sur l'écliptique (bien que fort peu éloignées de celui-ci), ni sur l'équateur, le problème se complique à l'extrême. Je dois avouer que je n'ai trouvé aucune relation simple pour passer de $\mathcal{L}$ à AR avec comme deuxième donnée la déclinaison D au lieu de la latitude céleste "b" (beta). Car trouver AR et D connaissant $\mathcal{L}$ et b, facile! Trouver $\mathcal{L}$ et b connaissant AR et D, facile! Mais trouver AR et b connaissant $\mathcal{L}$ et D: dur, dur!! Je vous le livre quand même.

Nous allons voir:

COORDONNÉES ÉQUATORIALES

Ascension Droite et Déclinaison



SPHÈRE CÉLESTE

publications, par contre nous aurons tous les éléments du Soleil, de la Lune et des planètes tous les jours à 0h00 TU. et bien sûr comme les données s'étalent sur 50 ans au moins, il n'est pas fourni le détail d'heure en heure.

Il nous faudra interpoler pour les heures minutes et secondes.

Que trouvons-nous dans ces tables ?

1) Le temps sidéral de Greenwich à 0h00 TU que nous appelons Tso (ici S.T. Sidereal time) donné en heures.

2) Les longitudes célestes "λ" comptées sur l'écliptique :

- du Soleil,
- de la Lune,
- de toutes les planètes,
- du noeud ascendant.

Avec indication du sens du mouvement sur l'écliptique, R = rétrograde, D = direct, s'il y a lieu.

3) Les déclinaisons des mêmes astres (sauf noeud ascendant bien sûr)

De nombreux autres renseignements ne nous concernent pas, et ceux fournis sont un peu incohérents pour notre usage.

Par exemple :

Les longitudes célestes, coordonnée écliptique, avec les déclinaisons, coordonnée équatoriale. Elles ne sont pas de la même famille et sont difficilement utilisables ensemble.

Dans les calculs astronomiques on utilise : Longitudes célestes avec Latitudes célestes d'un côté, et Déclinaisons avec Ascensions Droites de l'autre, mais on ne les mélange pas.

Il va donc nous falloir transformer les longitudes célestes en ascensions droites pour pouvoir utiliser des données cohérentes et compatibles.

De plus, les longitudes du Soleil et des planètes sont données en fonction des "mansions" ou "maisons célestes" dans lesquelles chaque astre séjourne. Un signe cabalistique indique la maison en question.

Un exemple est donné dans l'ouvrage avec la marche à suivre pour calculer les éléments de la droite de hauteur et de la latitude méridienne.

Tables de réfraction et de conversions diverses.

Bon outil pour le plaisancier qui ne veut pas se perdre dans les étoiles.

Nous pourrions l'étudier plus en détail si nous voulons étudier un jour la droite de hauteur et la navigation astronomique.

Paraît tous les ans.

4) EPHEMERIDES ASTROLOGIQUES DIVERSES:

On trouve dans le commerce, pour un prix abordable, des Ephémérides éditées par différents organismes de diseurs de bonne aventure, de devins, d'astrologues, médiums et vendeurs d'illusions de tous poils. Ces éphémérides couvrent des périodes de 50 ans et même 100 ans (de 1950 à 2050 par exemple) et fournissent de nombreux renseignements utiles aux astrologues pour établir leurs horoscopes.

Ces ouvrages proviennent de calculs très précis effectués par ordinateur aux Etats-Unis. J'en citerai un par exemple qui a obtenu ses résultats auprès de l'U.S. Naval Observatory et qui donne des renseignements de très grande précision : Longitude céleste et Déclinaison calculées au centième de seconde d'arc avant qu'elles soient arrondies, et autres phénomènes astronomiques calculés à la seconde de temps près.

Bien que leurs motivations ne soient pas les mêmes que celles des astronomes, les calculs obéissent aux mêmes lois, et nous pouvons fort bien utiliser ces éphémérides astrologiques pour nos besoins.

Un avantage certain est que les données couvrent une longue période évitant au possesseur d'avoir à racheter un ouvrage tous les ans, et assurant un amortissement rapide de son achat.

Nous ne trouvons pas les éphémérides des étoiles dans de telles

COORDONNEES EQUATORIALES

- 1) L'ASCENSION DROITE "AR"
comptée sur l'Equateur
de 0 à 24 heures
dans le sens direct
à partir du point γ (gamma)

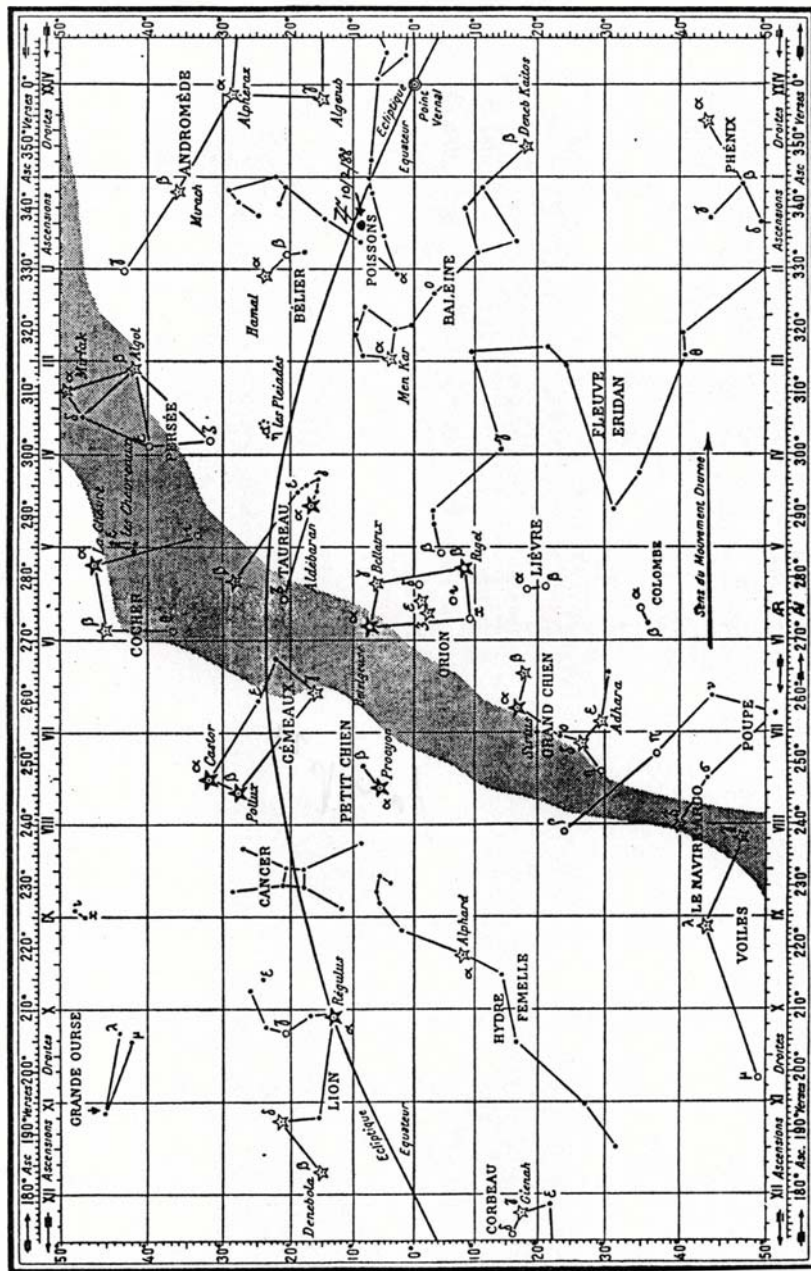
Remarquons que contrairement aux Azimuts et Angles horaires qui sont comptés dans le sens rétrograde, les Ascension Droites sont comptées dans le sens direct, ceci, afin que dans le mouvement diurne, les étoiles passent au méridien dans l'ordre de leurs ascensions droites croissantes.

Pour la navigation, on remplace l'ascension droite par son complément à 24 heures, l'ASCENSION VERSE "AV", comptée en degrés, dans le sens rétrograde.

$$AV = 15(24 - AR \text{ h})$$

- 2) LA DECLINAISON "D"
comptée sur le cercle de déclinaison
de l'astre
de 0 à 90°
à partir de l'Equateur
positivement vers le pôle Nord,
négativement vers le pôle Sud.

On utilise parfois comme dans les coordonnées horaires, la distance polaire.



Carte équatoriale du ciel (Mercator), de 50° N à 50° S en Déclinaison et de 0° à XII^h en Ascension droite.

Inconvénients: Les données en heures et les besoins d'interpolations.

2) LES EPHEMERIDES NAUTIQUES:

Publiées par le Bureau des Longitudes à l'usage des marins.

Ouvrage pratique car les données sont fournies en degrés, d'heure en heure, mais ne concernent que les astres utilisés en navigation: Soleil, Lune, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne et 81 étoiles jusqu'à la magnitude 2,8 (les plus brillantes). L'ouvrage se dispense même de donner les renseignements concernant les planètes énumérées lorsqu'elles sont trop proches du Soleil pour être observable au sextant.

Il donne par contre des tables d'interpolation très détaillées et faciles d'emploi, ainsi que de corrections de hauteurs observées, d'azimut au lever et au coucher, etc... tous renseignements qui intéressent le navigateur.

Il donne les angles horaires directement d'heure en heure pour tous les astres concernés et le point vernal. Au lieu de l'Ascension Droite (qui est exprimée en heures et qui doit se retrancher du Temps Sidéral), il donne l'Ascension Verse AV en degrés, et qui s'ajoute au Temps sidéral lui aussi fourni en degrés.

Parait tous les ans.

Inconvénients: Ouvrage un peu encombrant et coûteux.

3) L'ALMANACH DU MARIN BRETON:

Petit ouvrage bon marché et peu encombrant, à l'usage du navigateur côtier. Il donne une foule de renseignements sur les côtes, les phares, les courants, les marées, les règlements maritimes, la sécurité, la radio-navigation, la météo etc...

Ne donne les éléments astronomiques que pour le soleil, sous forme d'angle horaire et déclinaison à 0h00 TU tous les jours (en degrés).

Il faut interpoler.

Le processus est le même que pour le Soleil, on fera:

$$\boxed{AHao = Tso - ARa} \quad (\text{Tso aura été pris dans la table du}$$

Soleil)

LUNE ET PLANETES:

Tso sera tiré de la table du Soleil comme ci-dessus et AR de la table de chacune des planètes quelle qu'elle soit, on fera ensuite encore:

$$\boxed{AHao = Tso - ARa}$$

Attention au sens de la variation pour interpoler l'Ascension Droite des planètes sujettes à rétrogradations au cours de leur mouvement apparent sur la sphère des fixes.

La Déclinaison sera prise directement à la table de la planète.

Il faudra interpoler pour l'heure et parfois même pour le jour dans le cas de planètes à déplacement lent.

Ayant obtenu l'angle horaire à Greenwich, nous savons que l'angle horaire local (celui qui sera le départ de nos calculs astronomiques) s'en déduit en lui enlevant la longitude du lieu d'observation:

$$\boxed{AHag = Tso - ARa - G} \quad (G + \text{si West et } - \text{ si Est})$$

Pour Nantes, si l'on convient de prendre $G = 1^h 30' W$ soit + 6 minutes, il faudra enlever systématiquement 00h06m à AHao.

Exemple:

$$T.S. \text{ ou } Tso = 14h 18m 40s$$

$$- ARa = \underline{8h 36m 51s}$$

$$AHao = 5h 41m 49s$$

$$\text{Pour NANTES: } - G = \underline{0h 06m 00s}$$

$$AHag = 5h 35m 49s = 83^{\circ} 57' 15''$$

C'est cet angle AHag qu'il faudra utiliser avec D pour effectuer tous les calculs.

Les Ephémérides astronomiques donnent des renseignements très complets sur une grande partie des astres. L'ouvrage paraît tous les ans.

EXEMPLE D'UTILISATION DES COORDONNEES EQUATORIALES

Nous avons vu que les coordonnées équatoriales étaient utilisées pour localiser un astre sur la sphère céleste, en dehors de toute contingence terrestre. Dans un laps de temps considéré on estime que les étoiles sont fixes dans le ciel et indépendantes les unes par rapport aux autres (on suppose la terre immobile, pour se dégager de son influence).

C'est dans ce contexte qu'ont été établies les cartes du ciel, et les tables de positions des étoiles.

Nous avons ci-contre la carte d'une partie du ciel. Vous lisez dans la légende qu'il s'agit d'une portion s'étendant de 50° de chaque côté de l'équateur, et qui s'étale sur la moitié du ciel en Ascension droite: 0h à XIIh. (On note parfois les Ascension droite (AR) en chiffres romains, pour les distinguer des autres mesures qui sont en degrés et se comptent dans l'autre sens)

Considérons une étoile dans le ciel (car les étoiles étaient dans le ciel bien avant que nous ne les mettions sur des cartes).

- Nous voulons pouvoir la placer sur une carte:

à l'aide d'instruments et d'observations diverses, nous mesurons les éléments de ses coordonnées équatoriales, c'est à dire, la distance angulaire qui la sépare du point vernal, origine de la mesure et celle qui la sépare de l'équateur, vers le Nord ou vers le Sud.

Supposons que nous ayons pris ALDEBARAN, (alpha du Taureau):

* elle passe au méridien 4h35 après le point vernal,

* elle est située à $16^{\circ} 29'$ au Nord de l'Equateur.

Nous en concluons que la belle étoile ALDEBARAN (de l'arabe "al dabarân" = la Suivante, parce qu'elle suit les Pléiades) a comme coordonnées équatoriales: Ascension droite AR = 4h35 et Déclinaison = $16^{\circ} 29'$ Nord.

Sur la carte du ciel nous allons pouvoir la placer en AR et D.

ÉTOILES 1982

N°	ASCENSION DROITE	CONSTELLATION	NOM	MAGNITUDE	DÉCLINAISON							
						1 ^{er} janv.	1 ^{er} mars	1 ^{er} mai	1 ^{er} juill.	1 ^{er} sept.	1 ^{er} nov.	31 déc.
1	^{h m} 0 07	α Andromède.....	Alpheratz	2,2	N 28 ⁰	59,5	59,4	59,3	59,4	59,6	59,8	59,8
2	0 08	β Cassiopée.....	Caph	2,4	N 59	03,2	03,0	02,8	02,8	03,1	03,4	03,5
3	0 12	γ Pégase.....	Algenib	2,9	N 15	05,0	04,9	04,9	05,0	05,2	05,3	05,3
4	0 25	α Phénix.....	Ankaa	2,4	S 42	24,6	24,5	24,2	23,9	23,9	24,1	24,3
5	0 39	α Cassiopée.....	Schedir	2,1-3,6	N 56	26,5	26,3	26,1	26,1	26,4	26,7	26,8
6	0 43	β Baleine.....	Deneb Kaitos	2,2	S 18	05,4	05,3	05,2	04,9	04,8	04,9	05,0
7	0 56	γ Cassiopée.....	Tsih	1,6-3,0	N 60	37,3	37,2	37,0	36,9	37,2	37,5	37,7
8	1 09	β Andromède.....	Mirach	2,4	N 35	31,6	31,5	31,3	31,4	31,6	31,8	31,9
9	1 37	α Éridan.....	Achernar	0,6	S 57	20,1	20,0	19,7	19,4	19,3	19,6	19,8
10	2 06	α Bélier.....	Hamal	2,2	N 23	22,7	22,6	22,5	22,6	22,8	22,9	23,0
11	2 14	α Petite Ourse.....	La Polaire	2,1-2,2	N 89	11,2	11,2	10,9	10,7	10,8	11,1	11,4
12	3 01	α Baleine.....	Menkar	2,8	N 4	01,1	01,0	01,1	01,2	01,4	01,4	01,3
13	3 07	β Persée.....	Algol	2,2-3,5	N 40	53,3	53,3	53,1	53,1	53,2	53,4	53,5
14	3 23	α Persée.....	Mirfak	1,9	N 49	48,0	48,0	47,8	47,7	47,8	48,0	48,2
15	4 35	α Taureau.....	Aldébaran	1,1	N 16	28,4	28,4	28,3	28,4	28,5	28,5	28,5
16	5 14	β Orion.....	Rigel	0,3	S 8	13,4	13,5	13,5	13,3	13,1	13,1	13,3
17	5 15	α Cocher.....	La Chèvre	0,2	N 45	58,8	58,9	58,9	58,8	58,7	58,8	58,9
18	5 24	γ Orion.....	Bellatrix	1,7	N 6	20,0	19,9	19,9	20,0	20,1	20,2	20,1
19	5 25	β Taureau.....	El Nath	1,8	N 28	35,5	35,6	35,6	35,5	35,6	35,6	35,6
20	5 35	ε Orion.....	Alnitak	1,8	S 1	12,9	12,9	12,9	12,8	12,6	12,6	12,8
21	5 40	ζ Orion.....	Alnitak	2,1	S 1	57,2	57,3	57,2	57,1	56,9	57,0	57,1
22	5 54	α Orion.....	Bételgeuse	0,1-1,2	N 7	24,2	24,1	24,2	24,3	24,4	24,3	24,3
23	5 58	β Cocher.....	Menkalinan	2,1	N 44	56,8	56,9	56,9	56,8	56,7	56,7	56,8
24	6 22	β Grand Chien.....	Mirzam	2,0	S 17	56,9	57,0	57,0	56,8	56,6	56,6	56,8
25	6 24	α Carène.....	Canopus	-0,9	S 52	41,2	41,5	41,4	41,2	40,9	40,9	41,2
26	6 37	γ Gémeaux.....	Alhena	1,9	N 16	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9
27	6 44	α Grand Chien.....	Sirius	-1,6	S 16	41,5	41,7	41,7	41,5	41,3	41,3	41,5
28	6 58	ε Grand Chien.....	Adhara	1,6	S 28	56,9	57,1	57,1	56,9	56,6	56,6	56,9
29	7 08	δ Grand Chien.....	Wezen	2,0	S 26	21,9	22,1	22,1	21,9	21,7	21,7	21,9
30	7 33	α Gémeaux.....	Castor	1,6	N 31	55,6	55,7	55,8	55,7	55,7	55,6	55,6
31	7 38	α Petit Chien.....	Procyon	0,5	N 5	16,3	16,2	16,2	16,3	16,3	16,3	16,2
32	7 44	β Gémeaux.....	Pollux	1,2	N 28	04,2	04,2	04,3	04,2	04,2	04,1	04,1
33	8 03	ζ Poupe.....		2,3	S 39	57,1	57,4	57,4	57,2	57,0	56,9	57,2
34	8 09	γ Voiles.....		1,9	S 47	16,9	17,2	17,3	17,1	16,8	16,8	17,0
35	8 22	ε Carène.....	Aviar	1,7	S 59	27,0	27,3	27,4	27,3	27,0	26,8	27,1
36	8 44	δ Voiles.....		2,0	S 54	38,4	38,7	38,9	38,7	38,4	38,3	38,5
37	9 07	λ Voiles.....	Suhail	2,2	S 43	21,4	21,7	21,9	21,8	21,5	21,4	21,6
38	9 13	β Carène.....	Minaplacidus	1,8	S 69	38,4	38,7	38,9	38,8	38,5	38,4	38,6
39	9 17	ι Carène.....		2,3	S 59	11,8	12,1	12,3	12,2	11,9	11,8	12,0
40	9 27	α Hydre femelle.....	Alphard	2,2	S 8	34,8	34,9	35,0	34,9	34,8	34,8	35,0

Nous avons à notre disposition pour cela un certain nombre d'ouvrages, plus ou moins précis, plus ou moins complets, plus ou moins faciles d'utilisation, plus ou moins coûteux selon la précision que nous recherchons, la complexité que nous souhaitons, l'aisance avec laquelle nous voulons atteindre le résultat et les moyens financiers dont nous disposons pour l'achat de documents ayant une durée d'utilisation limitée à une seule année.

1) LES EPHÉMERIDES ASTRONOMIQUES :

DONNÉES EN HEURES, sauf la Déclinaison fournie en degrés.

Tables pour le Soleil, la Lune, toutes les planètes et leurs satellites, un grand nombre d'étoiles et d'autres corps célestes.

Pour ce qui nous concerne, il faudra prendre dans la table du Soleil au jour considéré, pour 0 heure T.U. dans la colonne "T.S.", le Temps Sidéral de Greenwich en heures. Nous le désignerons par Tso (Temps Sidéral au méridien D).

Ce Tso va nous servir pour trouver les éléments de tous les astres que nous voudrons.

SOLEIL:

Dans la même table on cherchera l'Ascension Droite du Soleil, nous la désignerons par ARv (Ascension Droite du soleil Vrai) ainsi que sa Déclinaison D.

On obtient "AHvo" l'Angle Horaire du soleil Vrai à Greenwich (où G = D) en faisant:

$$AHvo = Tso - ARv$$

La déclinaison D a été obtenue directement dans la table.

Ces éléments étant fournis pour 0 heure TU, il faudra interpoler pour une heure différente de celle-là.

ÉTOILE:

Dans la table des étoiles en fin d'ouvrage, on prendra l'Ascension Droite de l'Astre ARa et sa Déclinaison D.

UTILISATION DES EPHEMERIDES

POUR DETERMINER LES DONNEES ASTRONOMIQUES

DES DIFFERENTS CORPS CELESTES

Nous avons vu lors du dernier exposé, comment l'on pouvait tout trouver à l'aide de relations relativement simples que le choix de conditions favorables au calcul rendait élémentaires.

Cependant il nous fallait toujours partir de données qu'il n'était pas évident de trouver si simplement. Nous supposons pour un astre choisi: un angle horaire et une déclinaison, deux éléments que nous n'avons pas à notre disposition immédiatement puisque ceux-là aussi il allait falloir les calculer.

Notre but aujourd'hui va être de trouver dans les tables, les données astronomiques dont nous aurons besoin pour mener à bien tous nos calculs.

Nous connaissons:

- * notre latitude L
- * notre longitude G
- * la date et l'heure exacte.

Nous voulons obtenir dans les tables astronomiques pour un certain astre :

- * son angle horaire AH
- * sa déclinaison D ,

à l'instant considéré afin de trouver par le calcul:

- * sa hauteur H
- * son azimut Z
- * son heure de passage méridien Tpass.
- * ses heures de lever et coucher,

au lieu de latitude L et longitude G que nous connaissons.

22 bis

Opérant de la même façon pour les autres étoiles, on arrivera ainsi à dresser une carte complète qui reproduira exactement sur le papier le panorama céleste offert par les étoiles, où que nous soyons dans le monde.

Nous aurons eu soin également de noter les résultats de nos observations sur des Tables, afin que nous puissions utiliser ces éléments pour faire des calculs ultérieurs. Ce que nous verrons plus tard.

Naturellement lorsque nous sommes venus sur ce monde, de savants prédécesseurs avaient déjà fait ce travail, et nous n'avons eu qu'à nous en servir pour faire l'opération inverse: partant de la carte ou de la table, retrouver la position d'une étoile dans le ciel où le nom d'une étoile que l'on a située par rapport à ses voisines.

Par exemple, connaissant ALDEBARAN et le Baudrier d'ORION, nous voulons connaître le nom de l'étoile qui brille fortement au-delà d'ORION à la même distance de celui-ci qu'ALDEBARAN.

Regardant la carte du ciel, nous voyons tout de suite qu'il ne peut s'agir que de SIRIUS.

Nous cherchons PROCYON, et voyons sur la carte qu'elle forme un triangle avec ORION et SIRIUS. Ayant dans l'oeil la disposition de ces astres donnée par la carte il est facile de la retrouver dans le ciel.

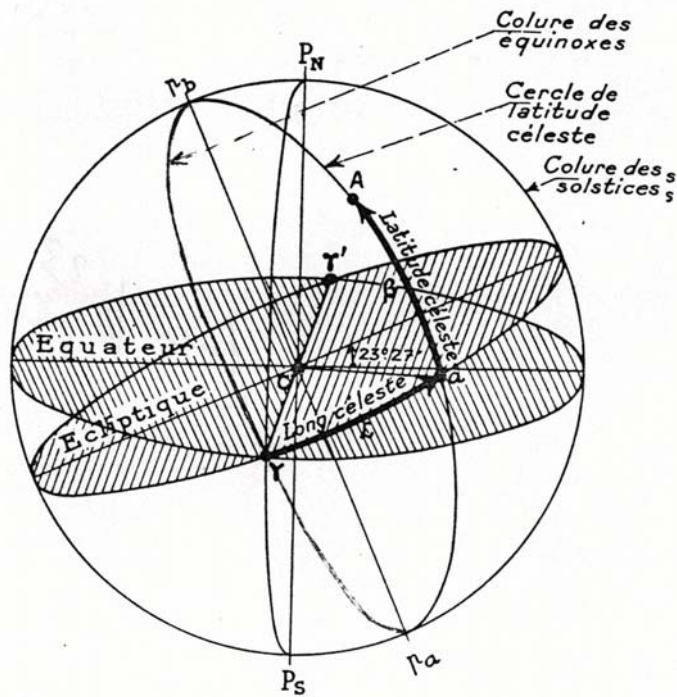
Les Tables dont vous avez ici un extrait, servent à faire pratiquement la même chose que les cartes, mais avec plus de précision lorsque cette précision est recherchée. Elles permettent en outre de faire des calculs prévisionnels tels que: heure lever ou coucher, heure passage au méridien, hauteur méridienne d'où obtention de la latitude, hauteur et azimut de l'étoile à tout moment pour établissement du point à la mer et régulation des compas etc...

Nous pouvons de la même façon placer une planète sur la carte du ciel pour pouvoir la repérer par rapport aux étoiles voisines, si nous connaissons son ASCENSION DROITE et sa DECLINAISON (que nous trouverons dans les EPHEMERIDES pour la date considérée).

Exemple: le 10/2/88 JUPITER: AR = 1h33m33s D = 8°35' Nord
Il se trouve dans la constellation des POISSONS

COORDONNÉES ÉCLIPTIQUES

Longitude et Latitude célestes



SPHÈRE CÉLESTE

$$\sin Z = (\cos D \cdot \sin AH) / \cos H$$

$$= (\cos 45^\circ 9' \cdot \sin 30^\circ) / \cos 69^\circ 4'$$

$$= (0.6959128 \cdot 0.5) / 0.35184165 = 0.98895739$$

$$Z = 81^\circ 5' \text{ depuis le SUD soit le } 261^\circ 5' \text{ vrai du compas. (presque le}$$

plein OUEST)

Partant de cet exemple vous pouvez tout trouver. Il faut cependant faire attention aux règles de signes et considérer l'astre à l'Est ou à l'Ouest selon son angle horaire, pour trouver l'azimut.

Lors du prochain exposé nous verrons comment utiliser les Ephémérides pour déterminer les données des différents astres: AR, AH, D pour un instant donné et de là trouver les autres éléments qui peuvent nous intéresser.

Nous ferons quelques exercices pratiques et simples, pensez à amener votre calculatrice.

Nous verrons également le moyen d'établir nous même des éphémérides afin de remplacer celles assez coûteuses que l'on trouve dans le commerce.

07/03/20

$$AH = 71^{\circ},356 = 71^{\circ} 21' 22'' \text{ ou } 4 \text{ heures } 45 \text{ m } 25 \text{ s}$$

On en conclut qu'à Nantes Sirius se lève dans le $114^{\circ}8$, 4h 45m 25s avant son passage méridien où elle culminera à une hauteur $H = 90^{\circ} - (L-D)$ soit:

$90^{\circ} - (47 - (-16^{\circ}6')) = 26^{\circ}4$ (ce n'est pas très haut, mais ça colle avec la réalité!),

elle se couchera dans le $254^{\circ}2$, 4h 45m 25s après son passage méridien et donc: $2 \times 4h 45m 25s = 9h 30m 50s$ après son lever.

Sirius ne reste que 9h 30m 50s au dessus de l'horizon nantais.

Lorsque vous aurez appris à calculer l'heure du passage d'une étoile au méridien, voyez un peu tout ce que vous pourrez tirer comme informations de vos calculs!...

Qui vous empêche de faire des tables, étoile par étoile pour Nantes, avec les renseignements concernant lever, coucher, culmination ?

Pourquoi ne pas faire un "diagramme stellaire" pour l'une ou pour l'autre de ces étoiles comme nous avons fait pour le soleil ?

Remarquez que les "cartes célestes mobiles" de Pierre Bourge et autres réalisateurs ne sont que des applications graphiques de ce que je viens d'exposer.

3) *** Enfin, en appliquant les formules du triangle de position nous pourrions trouver les autres éléments du triangle:

Exemple : A Nantes où $L = 47^{\circ}N$ quelle sera la hauteur de La Chèvre, et son Azimut lorsque son angle horaire sera $AH = 30^{\circ}$, nous savons que sa déclinaison est de $45^{\circ}9$ Nord

$$\sin H = \sin L \sin D + \cos L \cos D \cos AH$$

$$\sin H = \sin(47^{\circ})\sin(45^{\circ}9) + \cos(47^{\circ})\cos(45^{\circ}9)\cos(30^{\circ})$$

$$\sin H = 0.52520433 + 0.41102552 = 0.93622985$$

$$H = 69^{\circ}4$$

COORDONNEES ECLIPTIQUES

1) LONGITUDE CELESTE " α "
comptée sur l'Ecliptique
de 0 à 360°
dans le sens direct
à partir du point vernal.

2) LATITUDE CELESTE " β "
comptée sur le cercle de latitude de
l'astre
de 0 à 90°
à partir de l'Ecliptique
positivement vers le pôle boréal
négativement vers le pôle austral.

Ces coordonnées sont peu utilisées sinon lorsque l'on étudie les mouvements du Soleil, de la Lune et des Planètes qui ont lieu, sur ou très près de l'écliptique qui est nous le répétons la trajectoire du Soleil dans le ciel sur le fond des étoiles. (Il figure sur la carte du ciel de la page précédente sous forme d'un arc ici situé au-dessus de l'équateur).

Les pôles de l'écliptiques se nomment: pôle boréal (Nord) et pôle austral (Sud)

Tout grand cercle passant par les pôles de l'écliptique s'appelle cercle de latitude céleste. Celui qui contient les points γ et γ' (gamma et gamma prime) est le colure des équinoxes, le grand cercle qui lui est perpendiculaire est le colure des solstices.

Nous avons vu les trois sphères: terrestre, locale et céleste.

Nous avons vu également les cinq systèmes de coordonnées: géographiques, horizontales, horaires, équatoriales et écliptiques.

Notre prochain objectif sera de réunir les trois sphères en une sphère unique, d'y retrouver toutes les coordonnées (sauf les coordonnées écliptiques pour le moment) et d'établir les relations existant entre elles.

Ce sera le thème du prochain exposé et le point de départ de calculs astronomiques passionnants.

*

$$L = N + D$$

Comme $N = 90^\circ - 63^\circ = 27^\circ$ et $D = 45^\circ 9'$ j'ai : $L = 27^\circ + 45^\circ 9' = 72^\circ 9' N$

2) *** Nous pourrions également trouver les éléments au lever ou coucher d'un astre en appliquant les formules adéquates citées plus haut:

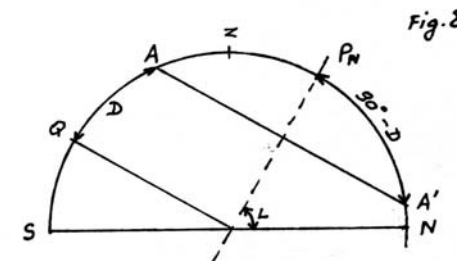
* Azimut de La Chèvre à son lever à Nantes :

$$\begin{aligned}\cos Z &= \sin D / \cos L \\ &= \sin 45^\circ 9' / \cos 47^\circ \\ &= 0,7181263 / 0,68199836 \\ \cos Z &= 1,0529736 \text{ (erreur!!!)}\end{aligned}$$

Problème insoluble car on trouve $\cos Z > 1$, ce qui veut dire qu'à Nantes La Chèvre ne se couche jamais.

En effet:

$$\begin{aligned}P_N A' &< P_N N \\ 90^\circ - D &< L \\ 90^\circ - 45^\circ 9' &< 47^\circ\end{aligned}$$



* Azimut de Sirius (alpha Grand Chien) à ses lever et coucher à Nantes:

(même problème que ci-dessus, mais avec un astre dont $D = 16^\circ 6'$ Sud)

$$\begin{aligned}\cos Z &= \sin (-16^\circ 6') / \cos 47^\circ \implies -16^\circ 6' \text{ car Sud} \\ &= -0,28568837 / 0,68199836 \\ &= -0,41889891 \\ Z &= 114^\circ 8' \text{ au lever et} \\ Z &= 245^\circ 2' \text{ au coucher } (360^\circ - 114^\circ 8')\end{aligned}$$

* Angle horaire de Sirius à ses lever et coucher à Nantes:

$$\cos AH = -\tan L \times \tan D = -\tan 47^\circ \times \tan (-16^\circ 6')$$

CAS DU LEVER ET DU COUCHER

Au moment du lever ou du coucher d'un astre, sa hauteur "H" au-dessus de l'horizon est égale à zéro. Sa distance zénithale "N" est égale à 90°. Partant de là, en considérant les formules déjà définies, nous arrivons aux résultats suivants:

$$\cos AH = - \operatorname{Tg} L \operatorname{Tg} D$$

et

$$\cos Z = \sin D / \cos L$$

Formules qui donnent l'angle horaire et l'azimut au moment du lever ou du coucher d'un astre.

Nous pouvons toujours nous demander à quoi servent tous ces développements. Voici quelques exemples simples:

Nous passerons des plus simples aux plus compliqués:

1) *** Passage au méridien:

Nous avons vu que $L = N + D$

Par exemple, à Nantes où $L = 47^\circ$ Nord, un jour où la déclinaison du soleil est de 12° Nord, calculons la hauteur du passage méridien:

$$N = L - D \implies N = 47^\circ - 12^\circ = 35^\circ$$

$$\text{et } H = 90^\circ - 35^\circ = 55^\circ$$

La Chèvre (alpha Cocher) dont la déclinaison est $D = 45^\circ 9'$ N passe au méridien de Nantes à une hauteur égale à :

$$N = L - D \implies N = 47^\circ - 45^\circ 9' = 1^\circ 1'$$

$$\text{et } H = 90^\circ - 1^\circ 1' = 88^\circ 9' \text{ (presque au zénith)}$$

Nous pourrions toujours nous amuser à faire ce genre de calcul pour trouver la hauteur des astres à leur passage méridien, et pourquoi pas comme le font les marins en observant la hauteur, à trouver la latitude du lieu d'observation:

J'ai observé La Chèvre lors de son passage méridien à une hauteur de 63° , quelle est ma latitude ?

LES TROIS SPHERES

DE REFERENCE

REUNIES EN UNE SEULE

RELATIONS ENTRE LES COORDONNEES DES DIFFERENTS SYSTEMES

A la suite des deux exposés précédents au cours desquels nous avons étudié le repérage d'un point sur une des sphères : terrestre, locale et céleste, nous allons aujourd'hui réunir ces trois sphères en une sphère unique et voir les relations existant entre les différents éléments de chacune d'elle.

Il va nous falloir faire un effort d'imagination et pas mal de gymnastique intellectuelle pour saisir les positions relatives de ces trois sphères imbriquées les unes dans les autres. Il faudra faire voyager notre esprit à travers l'espace pour concevoir ces sphères aussi bien du dehors que du dedans.

Ces trois sphères sont concentriques:

1) A l'intérieur se trouve la sphère terrestre. Elle est supposée fixe, et le lieu de l'observation L est déterminé au moyen de sa latitude "L" et de sa longitude "G".

2) En position intermédiaire vient la sphère locale. On la place:

a) en faisant coïncider son méridien avec le méridien de la sphère terrestre correspondant au lieu d'observation;

b) en la faisant pivoter jusqu'à ce que sa verticale ascendante Cz coïncide avec le rayon CL de la sphère terrestre.

Dès lors, la sphère locale peut être verrouillée à la sphère terrestre aussi longtemps que l'observateur ne change pas de position à la surface de la terre.

4) Enfin la sphère extérieure est la sphère céleste ou sphère étoilée. Elle a même axe des pôles que la sphère terrestre et que la sphère locale. En somme sa ligne des pôles n'est autre que l'axe de rotation de la terre prolongé.

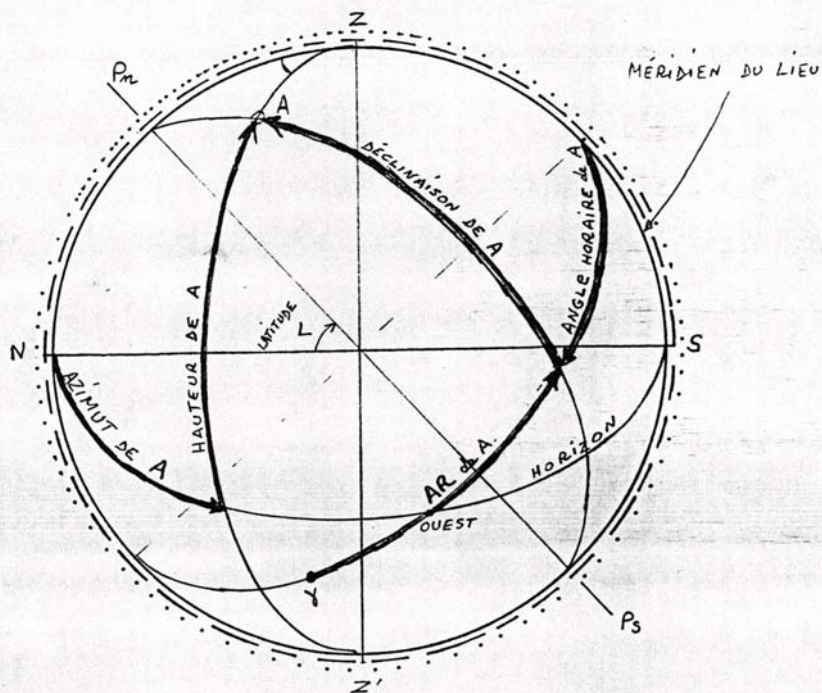
Cette sphère tourne continuellement et de manière uniforme autour de la ligne des pôles. A un instant donné, sa position est fixée par rapport à la sphère locale par l'angle horaire du point vernal (point γ), AHsg, dont la caractéristique est de mesurer le temps sidéral à cet instant.

Ces trois sphères sont constamment mobiles l'une par rapport à l'autre,
car :

- la position du point vernal sur l'équateur de la sphère locale change en raison du mouvement de la sphère céleste c'est à dire que les étoiles se déplacent par rapport à un observateur supposé fixe, et ce, en fonction du temps qui s'écoule.

- si l'observateur se déplace, ses coordonnées géographiques changent et il en résulte pour la sphère locale :

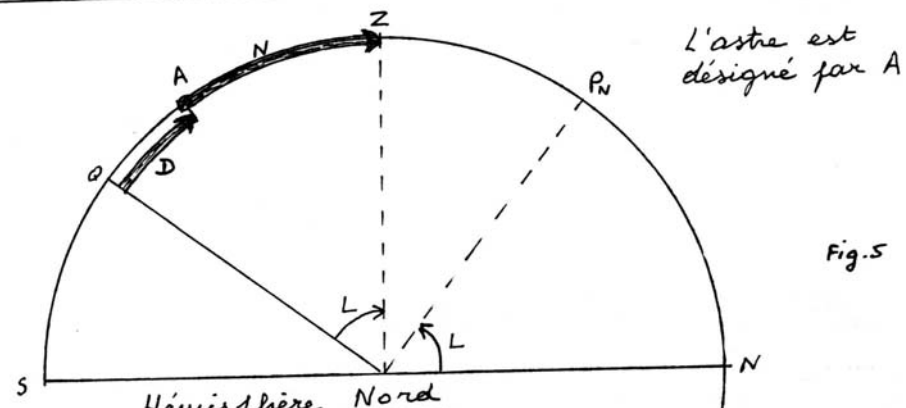
- * un changement d'orientation de la verticale d0 au déplacement en latitude
- * un changement d'orientation du méridien d0 au déplacement en longitude.



au but par la suite.

Un bon croquis vaut mieux qu'un long discours, nous raisonnerons sur des figures désormais et comprendrons plus vite et plus simplement! Mais les matheux auront toujours le plaisir de traiter les formules de trigo pour arriver plus formellement au même résultat.

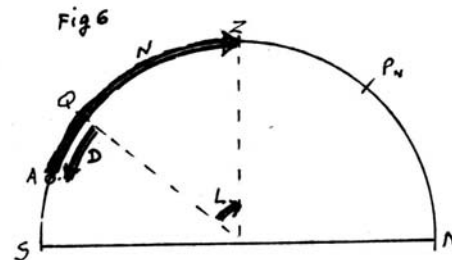
PASSAGE D'UN ASTRE AU MÉRIDIDIEN SUPÉRIEUR



Hémisphère Nord

Hemisphère
Δ est Nord donc (+)

Δ est Nord donc (+)
 N est Nord car N est très du nom du pôle auquel
 on tourne le dos. $L = N + \Delta$ est > 0 donc Nord

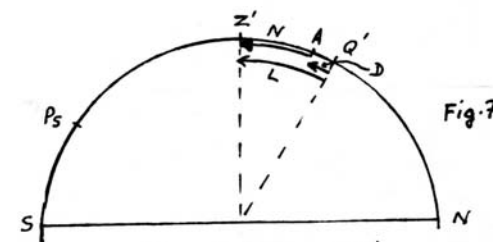


Hémisphère Nord

D est Sud donc (-)

$N \equiv \widehat{AZ}$ est Nord car on tourne le dos au Pôle N quand on observe l'étoile A au méridien

$L = N + (-1)$ est > 0
donc Nord

Hémisphère Sud

Δ est Sud donc $(-)$

N est Sud car on tourne le dos au Pôle S quand on observe l'astre.

$L = N + \Delta \quad (-) + (-) \text{ ext } < 0$
donc Sud

Ça marche dans tous les cas.

CAS DU PASSAGE AU MERIDIEN SUPERIEUR DU LIEU:

Dans ce cas, l'angle horaire AH est par définition égal à 0°. Dans toutes les formules, $\cos AH = \cos 0^\circ = 1$

$$\sin AH = \sin 0^\circ = 0$$

Considérons la formule donnant la hauteur H par rapport à la latitude "L", la déclinaison "D" et l'angle horaire "AH":

$$\sin H = \sin L \sin D + \cos L \cos D \cos AH$$

Comme $AH = 0^\circ$, $\cos AH = 1$ nous l'avons dit (mais nous ne l'avons pas inventé)

$$\text{Donc, } \sin H = \sin L \sin D + \cos L \cos D \times (1)$$

Dans nos relents de trigonométrie plane nous nous rappelons que:

$$\cos(a - b) = \sin a \sin b + \cos a \cos b,$$

relation qui ressemble étrangement à celle donnant $\sin H$ ci-dessus!

On pourrait donc écrire:

$$\sin H = \cos(L - D) = \sin L \sin D + \cos L \cos D$$

Or nous avons vu dans l'étude des coordonnées horizontales que nous prenions indifféremment comme mesure, soit H, la hauteur, soit N, la distance zénithale qui valait : $N = 90^\circ - H$, d'où $\sin H = \cos(90^\circ - H) = \cos N$

Mais alors la relation ci-dessus devient:

$$\sin H = \cos N = \cos(L - D) \text{ et par là-même nous avons dans ce cas:}$$

$N = L - D$ ou $L = N + D$ d'où toute relation trigonométrique est exclue et qui peut s'énoncer : La latitude est égale à la somme de la distance zénithale et de la déclinaison.

Cette démonstration presque évidente est faite pour vous montrer que les formules de trigo se simplifient dans les cas limites et se ramènent à des relations d'addition et de soustractions d'éléments simples. Encore une fois il faudra m'excuser de mes longs développements, mais nous irons plus directement

SPHERE UNIQUE

1) COORDONNEES COMMUNES A PLUSIEURS SYSTEMES.

2) COORDONNEES QUI SE MESURENT DANS LE MEME PLAN. (sur l'équateur)

Dans le premier cas nous avons la déclinaison d'un astre qui est une coordonnée commune aux deux systèmes, horaire et équatorial. La déclinaison se définit, vous vous en rappelez, comme la distance angulaire comptée sur le cercle horaire, (ou sur le cercle de déclinaison car il s'agit du même cercle), de 0° à 90° à partir de l'équateur, vers le pôle Nord ou vers le pôle Sud.

Dans le deuxième cas nous aurons à trouver les relations existant entre les éléments des différents systèmes qui se mesurent sur l'équateur, ici, équateur commun aux trois sphères confondues.

Quels sont-ils ces éléments ?

- la longitude du lieu d'observation "G" mesurée sur l'équateur de la sphère terrestre.

- l'angle horaire de l'astre "AH", et son petit frère l'angle au pôle "P" mesurés sur l'équateur de la sphère locale.

- l'ascension droite de l'astre "AR" et son complément à 360°, l'ascension verse "AV" mesurées sur l'équateur de la sphère céleste.

Nous n'aurons dans les présentes relations que des rapports d'addition et de soustraction, donc aucune difficulté.

Nous allons raisonner sur des figures, en adoptant des conventions de signes et en appliquant strictement les appellations. Nous ne pourrons JAMAIS nous tromper dans ces conditions.

A chacun de se représenter lui-même la réalité en imaginant les opérations dans l'espace et en les comparant aux résultats obtenus par les formules.

En cas de désaccord, c'est à coup sûr la formule qui aura raison.

Nous allons nous envoler dans l'espace extra-sidéral et nous placer très haut en dehors de la sphère étoilée, au-dessus du pôle Nord et nous considérerons l'équateur sur lequel nous allons travailler, comme un cercle situé dans le plan de figure.

La sphère terrestre est considérée comme fixe.

Les astres se déplacent dans le sens rétrograde (aiguilles d'une montre)

- Soit C mo la trace du méridien international (Greenwich),

C mg la trace d'un méridien de longitude G,

C a la trace du cercle horaire d'un astre,

C γ la direction du point vernal au moment de l'observation.

Nous allons désigner nos différentes mesures selon la nomenclature suivante:

T désigne un temps

AH désigne un angle horaire, lié au temps,

P désigne l'angle au pôle,

a représente un astre auquel T et AH se rapportent

s représente le point vernal (s = sidéral)

o représente une mesure comptée à partir du méridien international

p a même sens que o (p = premier méridien)

g représente une mesure comptée à partir du méridien local

AR désigne l'ascension droite

AV désigne l'ascension verse (= $360^\circ - AR$ ou $24h - AR$)

EXEMPLES :

* AHag = Angle horaire (AH) d'un astre (a) au point de longitude G (g)

* AHso = Angle horaire (AH) sidéral (s) au méridien 0 (o)

* Tsg = Temps (T) sidéral (s) local (g)

* ARa = Ascension droite (AR) d'un astre (a)

PASSAGE DES COORDONNEES HORIZONTALES AUX COORDONNEES HORAIRES:

Dans un lieu de latitude donnée "L",

si l'on connaît la hauteur "H" et l'azimut "Z" d'un astre,

on peut en déduire sa déclinaison "D" et son angle horaire "AH" par les formules:

1) Formule fondamentale:

$$\cos PA = \cos ZA \cos PZ + \sin ZA \sin PZ \cos PZA$$

$$\text{ou } \sin D = \sin H \sin L + \cos H \cos L \cos Z$$

2) Analogie des sinus:

$$\sin ZPA / \sin ZA = \sin PZA / \sin PA$$

$$\text{ou } \cos D \cdot \sin AH = -\cos H \cdot \sin Z$$

$$\text{et } \sin AH = - \frac{\cos H \cdot \sin Z}{\cos D}$$

Toutes ces formules s'appliquent dans tous les cas.

Selon le but recherché, (astronomie ou navigation) on choisira l'une ou l'autre de ces relations.

FORMULES SIMPLIFIEES

Selon les circonstances, et tout au long de la journée, le triangle de position se déforme, il s'étale ou il se rétrécit. Il prend toutes les allures possibles, ses côtés et ses angles varient en fonction du temps. Nous allons donc étudier certains cas particuliers, où les angles deviennent droits, plats, ou nuls, et où les côtés (qui sont des mesures angulaires) prennent également des valeurs limites.

Les formules de trigonométrie se simplifient lorsque les éléments prennent des valeurs égales à 0° ou 90° .

* DECLINAISON "D"

* ANGLE HORAIRE "H"

* DECLINAISON "D" (coordon. commune, horaire et équatoriale)

* ASCENSION DR. "AR"

Nous voyons donc que toutes les coordonnées étudiées jusqu'ici figurent dans le triangle de position, sauf les coordonnées écliptiques, qui rappelons-le sont réservées à un autre usage.

Or, il suffit de connaître 3 éléments du triangle pour le déterminer entièrement.

Les relations trigonométriques qui permettent de passer d'un système à l'autre sont les suivantes:

PASSAGE DES COORDONNEES HORAIREES AUX COORDONNEES HORIZONTALES:

Dans un lieu de latitude donnée "L",

si l'on connaît la déclinaison "D" et l'angle horaire "AH" d'un astre,

on peut en déduire sa hauteur "H" et son azimut "Z" par les formules:

1) Formule fondamentale:

$$\cos AZ = \cos PZ \cos PA + \sin PZ \sin PA \cos ZPA$$

$$\text{ou } \sin H = \sin L \sin D + \cos L \cos D \cos AH$$

2) Analogie des sinus:

$$\sin PZA / \sin PA = \sin ZPA / \sin ZA$$

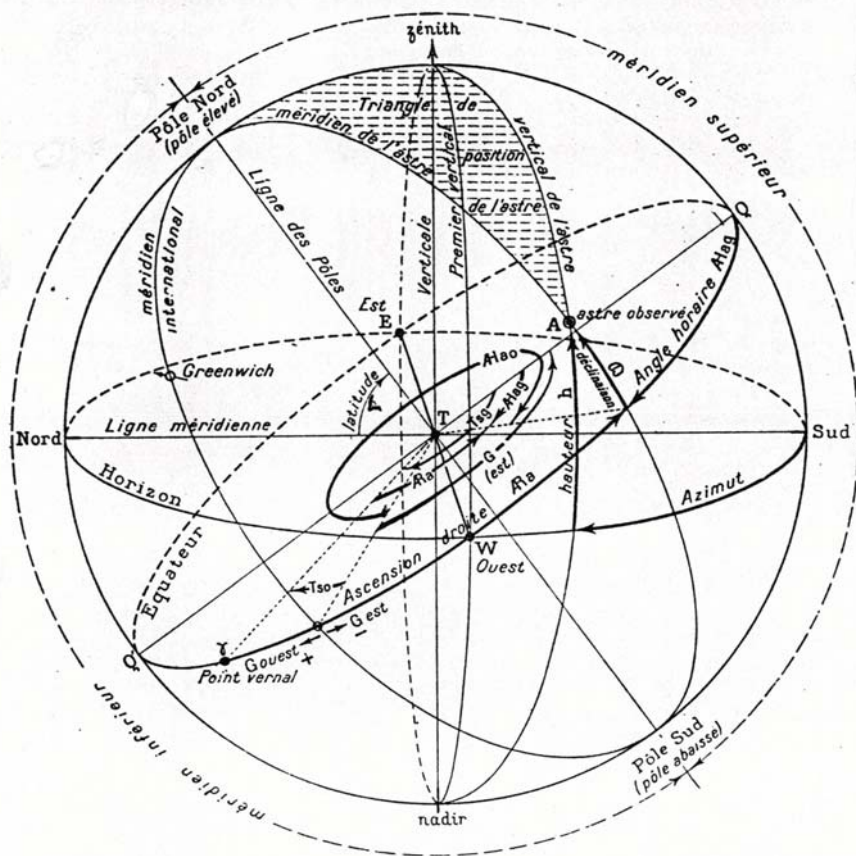
$$\text{ou } \cos H \cdot \sin Z = -\cos D \cdot \sin AH$$

$$\text{et } \sin Z = - \frac{\cos D \cdot \sin AH}{\cos H}$$

COORDONNEES

SYSTEME de COORD.	SYMBOLE	ORIGINE	SENS DE MESURE
* <u>Géographiques</u> :			
LATITUDE	L	Equateur	0° à 90° N(+) ou S(-)
LONGITUDE	G	Greenwich	0° à 180° E(-) ou W(+)
* <u>Horizontales</u> :			
HAUTEUR	H	Horizon	0° à 90° vers Zénith
AZIMUT	Z	Nord (ou Sud)	0° à 360° rétrograde
* <u>Horaires</u> :			
DECLINAISON	D	Equateur	0° à 90° N(+) ou S(-)
ANGLE HORAIRE	AH	Méridien du lieu	0° à 360° rétrograde
* <u>Equatoriales</u> :			
DECLINAISON	D	Equateur	0° à 90° N(+) ou S(-)
ASCENSION DROITE	AR	Point vernal	0° à 24 h. sens direct
* <u>Ecliptiques</u> :			
LATITUDE CELESTE		Ecliptique	0° à 90° sur ou sous l'écliptique.
LONGITUDE CELESTE		Point vernal	0° à 360° sens direct

COORDONNÉES UTILISÉES EN NAVIGATION ASTRONOMIQUE



Observateur dans
l'hémisphère Nord

Astre à l'Ouest
 $Z > 180^\circ$ $A < 180^\circ$

Sur la figure 4 nous voyons la réplique du triangle PZA déterminé sur la sphère par les différents grands cercles que nous avons étudiés:

* Méridien du lieu : Pn, Z, Q, S, Ps, Z', Q', N, soit le plan de figure 3

* Cercle horaire (ou cercle de déclinaison): Pn, A

* Vertical de l'astre : Z,A

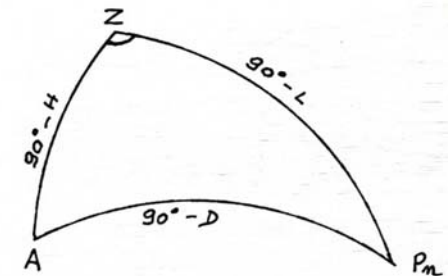


Fig. 4

Dans le triangle sphérique considéré, nous avons déjà fait connaissance avec 5 éléments sur 6.

- L'angle Z, azimut de l'astre A, coordonnée horizontale.
- Le côté AZ, complément de la hauteur, coordonnée horizontale
- Le côté AP, complément de la déclinaison, coordonnée horaire & équatoriale
- L'angle P, angle au pôle = AHag ou $360^\circ - AHag$, coordonnée horaire, mais que nous avons calculée sur l'équateur en y incluant l'ascension droite ARa (coord. équator.) et la longitude G (coord. géographique).
- Le côté PZ, complément de la latitude, coordonnée géographique
- L'angle A, dit "angle à l'astre" est de peu d'utilité.

Donc en résumé, dans ce triangle, appelé : "TRIANGLE DE POSITION" figurent :

- * LATITUDE "L"
- * LONGITUDE "G"
- * HAUTEUR "H"
- * AZIMUT "Z"

LE TRIANGLE DE POSITION

Nous avons vu dans le rappel de géométrie sphérique que le triangle sphérique est la figure formée sur la sphère par trois arcs de grand cercle. (page 4)

Lorsque nous allons réunir nos trois sphères en une seule, les différents grands cercles que nous avons pris comme supports des coordonnées vont, soit se confondre, soit se couper en déterminant un triangle sphérique.

Les côtés et les angles de ce triangle seront les mesures des différentes coordonnées que nous avons établies, ou leur complément.

La résolution de ce triangle par la trigonométrie sphérique va nous permettre de passer d'un système de coordonnées à l'autre.

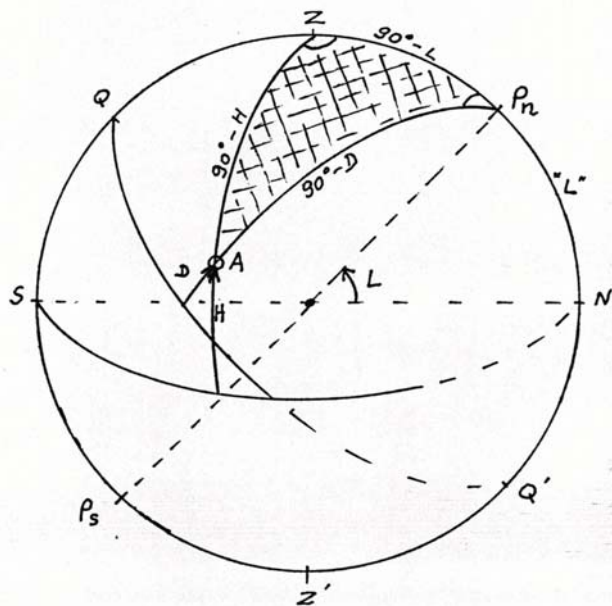


Fig. 3

NOTA :

Lorsque l'on considère le soleil, v désignera le soleil vrai, m désignera le soleil moyen et c le soleil civil, ainsi :

* Tco = Temps (T) civil (c) au méridien (o), c'est l'heure T.U.

* Tvg = Temps (T) vrai (v) local (g), c'est l'heure solaire indiquée par un cadran solaire.

* AHvg = Angle horaire (AH) du soleil vrai (v) local, au point de longitude G (g)

etc... etc ...

Excusez-moi de vous avoir infligé tous ces détails, mais il va falloir utiliser intensément ces termes dans la suite de l'exposé.

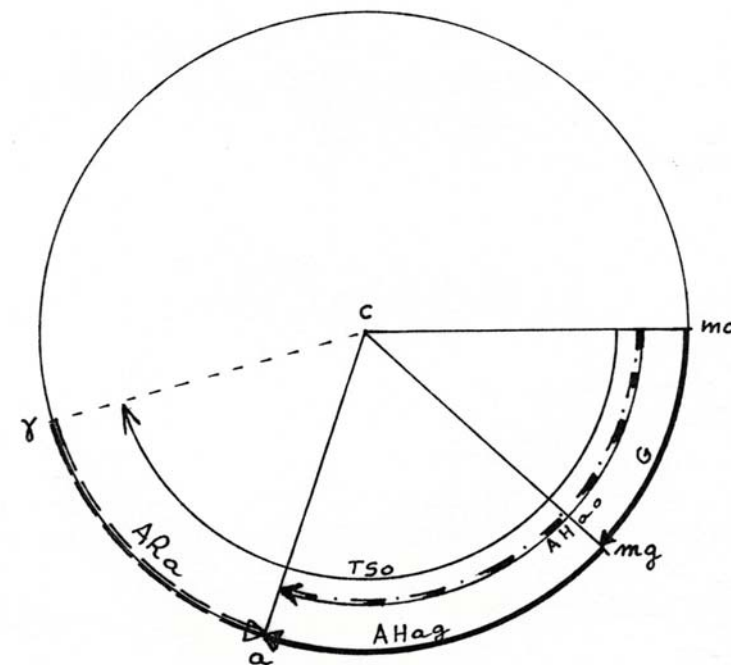


Fig. 2

Considérons la figure 2:

- * 1'arc $\widehat{mo\ mg} = G$ et représente la longitude du lieu.
- * 1'arc $\widehat{\gamma\ a} = ARa$ et représente l'ascension droite de l'astre A
- * 1'arc $\widehat{mg\ a} = AHag$, angle horaire de A au point de longitude G
- * 1'arc $\widehat{mo\ a} = AHao$, angle horaire de A au méridien 0 (Greenwich)
- * 1'arc $\widehat{mo\ \gamma} = Tso$, temps sidéral au méridien 0 on le trouve dans les tables.

Les relations qui lient ces différentes mesures sont:

$$AHag = AHao - G$$

$$AHao = Tso - ARa$$

d'où, pour trouver l'angle horaire local d'un astre, en connaissant la longitude du lieu d'observation G et le Temps sidéral à Greenwich Tso (souvent noté T.S dans les Ephémérides), nous n'aurons qu'à faire:

$$AHag = Tso - ARa - G$$

AVEC TOUJOURS G DE SIGNE - SI LONGITUDE EST

G DE SIGNE + SI LONGITUDE OUEST

EXEMPLE:

Ephémérides donnent pour un instant donné : Tso = 9h43m22s

ARa = 3h22m10s

Longitude 15° OUEST (soit +) G = 1h00m00s

$$AHag = 9h43m22s - 3h22m10s - (+ 1h00) = 5h21m12s$$

Le point le plus délicat de ce problème est la non-uniformité des unités, car l'astronomie étant une science très ancienne, traine derrière elle des habitudes archaïques.

Les heures se transforment aisément en degrés et inversement, mais c'est quand même une source inutile d'erreurs. C'est pourquoi, en navigation on n'utilise plus les ascensions droites exprimées en heures mais les ascensions verses en degrés, qui s'ajoutent au lieu de se soustraire.

On utilise également AHso, Angle horaire sidéral, exprimé en degrés dans les

Ephémérides au lieu du temps sidéral Tso, qui lui, apparaît en heures.

D'où un exemple pris dans des Ephémérides Nautiques ou Aériennes:

(AHso vaut exactement la même chose que Tso, mais a l'avantage d'être exprimé directement en degrés sur les tables)

$$AHso = 302^{\circ}32'12'' \quad AVa = 115^{\circ}53'30'' \quad G = 21^{\circ}45'00'' \text{ EST}$$

$$AHag = AHso + AVa - G$$

$$AHag = 302^{\circ}32'12'' + 115^{\circ}53'30'' - (- 21^{\circ}45'00'') = 440^{\circ}10'42''$$

mais comme tous nos éléments sur l'équateur sont limités à 360°, lorsque le résultat dépasse cette valeur, il faut l'enlever du total et nous aurons en définitive : $AHag = 440^{\circ}10'42'' - 360^{\circ} = 80^{\circ}10'42''$

L'astre aura tourné de 80°10'42" depuis son passage au méridien (où AHag= 360° ou 0°), selon sa déclinaison il sera couché ou visible vers l'Ouest.

Le calcul de sa position par rapport au lieu d'observation, c'est à dire dans un système horizontal sera étudié bientôt.

Si nous considérons l'une des relations ci-dessus exprimées, qui sont d'ailleurs les mêmes, nous voyons que dans l'expression de l'angle horaire d'un astre, AHag, entrent des éléments issus de systèmes de coordonnées différents:

- * AHso (ou Tso) ==> système horaire
- * AVa (ou ARa) ==> système équatorial
- * G, longitude ==> système géographique.

Nous aurons l'occasion d'y revenir.
