

LA RÉFRACTION ASTRONOMIQUE

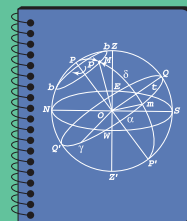
Louis CAMPION

Ce texte explique les effets optiques dus à l'atmosphère terrestre sur les observations astronomiques. L'atmosphère, composée principalement d'azote et d'oxygène, dévie, absorbe et diffuse la lumière des astres. La réfraction astronomique fait paraître les astres plus hauts qu'ils ne le sont réellement. Elle résulte de la variation progressive de la densité de l'air avec l'altitude. Cette réfraction nécessite des corrections dans les mesures des hauteurs d'astres, tout comme la réfraction terrestre, la parallaxe, et la dépression de l'horizon. D'autres phénomènes liés à l'atmosphère sont abordés : scintillation des étoiles, variation de la couleur du Soleil aux levers et couchers, mirages, aurores polaires, éclipses de Lune (rougeolement dû à la réfraction), rayon vert, halos et arcs-en-ciel. Louis Campion insiste sur la complexité des corrections à appliquer et sur l'imprécision induite par les variations locales de l'atmosphère. Ces phénomènes, tout en perturbant l'observation astronomique, offrent aussi des spectacles naturels fascinants.



SOCIÉTÉ
d'ASTRONOMIE
de NANTES

Société Scientifique d'Éducation Populaire agricole 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° 22

LA RÉFRACTION ASTRONOMIQUE

Louis CAMPION



Les Cahiers de la SAN

LA RÉFRACTION ASTRONOMIQUE

Louis CAMPION

Capitaine au long cours

Édition 2011

La Société d'Astronomie de Nantes

Résolument tournée vers le grand public, la SAN vous propose de découvrir l'astronomie ou d'approfondir vos connaissances dans ce domaine de multiples façons :

- Assister aux exposés d'astronomie présentés lors des réunions du vendredi soir, ouvertes à tous les adhérents, au local de la Société à partir de 20h30.
- Consulter ou emprunter l'un des mille ouvrages que possède le fonds bibliothécaire.
- Participer aux observations de découverte ou de perfectionnement. Vous pouvez également emprunter un instrument.
- Assister aux conférences au cours desquelles des astronomes et astrophysiciens de renom viennent présenter les derniers acquis de leurs travaux.
- Solliciter la SAN pour animer des actions pédagogiques préparées à l'attention de public scolaire ou adulte.
- Visiter les expositions auxquelles la SAN participe régulièrement.
- Apporter votre contribution à la réalisation de travaux pratiques d'astronomie tels que la mesure de la masse de Jupiter ou l'évaluation des altitudes des reliefs lunaires.
- Réfléchir et débattre des grands thèmes de la physique, de l'astrophysique et de la science en général au sein d'un groupe de réflexion théorique.
- Enfin, l'astronomie nécessitant des connaissances et des compétences multiples (en optique, mécanique, électronique, etc.), offrir un peu de votre temps pour la conception ou à la réalisation de projets astronomiques.

Pour participer à ces activités, il vous suffit de devenir adhérent.

La Société d'Astronomie de Nantes est une association fondée en 1971 et régie par la loi de 1901.

Les « **Cahiers de la SAN** » sont édités par la 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 - E-mail : san@san-fr.com

© Toute reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans l'autorisation de la Société d'Astronomie de Nantes, est interdite.

LA RÉFRACTION ASTRONOMIQUE

Les phénomènes optiques dus à la présence de l'atmosphère terrestre

Nous savons tous que l'atmosphère qui nous entoure est composée pour (environ) 21% d'oxygène et 78 % d'azote (soit 99 %). Le reste est représenté par l'anhydride carbonique et quelques *gaz rares* (argon, néon, hélium, krypton, hydrogène, xénon, ozone et radon). À cela s'ajoutent des microparticules solides en nombre considérable dans l'atmosphère, de la vapeur d'eau (invisible), des gouttelettes d'eau et de fins cristaux de glace (nuages).

Nous n'allons pas faire l'étude de la répartition de tous ces corps selon l'altitude, mais que l'on sache que la pression, donc la densité du gaz, est maximale au niveau du sol et qu'elle décroît avec l'altitude. Il est difficile de donner une altitude maximale à la couche de gaz qui entoure la Terre, car dans les hautes altitudes, l'on passe insensiblement du gaz au vide. Pour ce qui nous concerne, on estime qu'elle mesure environ 80 kilomètres.

La présence de cette atmosphère autour de la Terre, si elle a permis à la vie d'apparaître et de se développer, si elle nous sert de protection contre des agressions extérieures (rayonnements divers, météorites), a quand même pour nous quelques inconvénients.

Du point de vue astronomique, l'atmosphère entraîne nombreuses perturbations et sa présence est source de phénomènes curieux que nous allons exposer ci-après.

L'absorption

L'atmosphère absorbe.

De par son épaisseur, de par ses impuretés, l'atmosphère restreint l'intensité des rayons lumineux qui la traverse, mais aussi de par sa composition physique et chimique elle absorbe certaines radiations lumineuses. Elle va même jusqu'à imprimer le spectre de ses propres molécules sur le spectre des astres observés, c'est ce que l'on appelle des *raies telluriques*, qui sont par endroits tellement serrées qu'elles arrêtent complètement la lumière des astres dans certains domaines spectraux de l'infrarouge.

L'absorption est variable selon l'état de l'atmosphère et les conditions météorologiques. Pour un état donné de l'atmosphère elle est fonction de la longueur d'onde et de la distance zénithale. L'absorption est d'autant plus intense que la longue d'onde est plus courte et que l'astre est plus loin du zénith.

La diffusion atmosphérique

Elle contribue à affaiblir la lumière des astres, mais contrairement au cas de l'absorption, la fraction de lumière arrêtée n'est pas perdue, elle est étalée sur la voûte céleste et cette lumière parasite gêne l'observation des astres faibles pendant la nuit. Pendant le jour, le ciel bleu résultant de la diffusion de la lumière solaire empêche toute observation d'astre autre que le soleil et quelques autres corps brillants : Lune, Vénus, Jupiter.

C'est la diffusion qui permet de voir les objets à l'ombre et au crépuscule lorsque le soleil est caché, et qui est même la cause de l'aube et du crépuscule.

L'émission atmosphérique

L'atmosphère terrestre est elle-même lumineuse : émission thermique de la basse atmosphère dans les régions spectrales de l'infrarouge et émission due à des phénomènes complexes de la haute atmosphère qui contrarient l'observation des sources peu brillantes (nébuleuses, comètes, lumière zodiacale).

TABLES DE NAVIGATION

IX

Corrections des hauteurs observées de la Lune.

PREMIÈRE CORRECTION (négative)

Dépression apparente de l'horizon.

Élévation de l'œil (m)	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
Dépression	−9',0	−9',4	−9',7	−10',0	−10',3	−10',6	−10',9	−11',2	−11',5	−11',7	−12',0	−12',3	−12',5

DEUXIÈME CORRECTION. — Bord inférieur (additive)
(− Réfraction moyenne + parallaxe + demi-diamètre)

HAUTEUR apparente	PARALLAXE HORIZONTALE													
	54'	55'	55',5	56'	56',5	57'	57',5	58'	58',5	59'	59',5	60'	61'	
45°	32,0	33,0	33,5	34,0	34,5	35,0	35,5	36,0	36,4	36,9	37,4	37,9	38,9	
46	31,4	32,4	32,8	33,3	33,8	34,3	34,8	35,3	35,8	36,2	36,7	37,2	38,2	
47	30,7	31,7	32,2	32,6	33,1	33,6	34,1	34,6	35,1	35,5	36,0	36,5	37,4	
48	30,1	31,0	31,5	32,0	32,5	32,9	33,4	33,9	34,4	34,8	35,3	35,7	36,7	
49	29,4	30,3	30,8	31,3	31,8	32,2	32,7	33,1	33,6	34,1	34,5	35,0	35,9	
50	28,7	29,6	30,1	30,5	31,0	31,5	32,0	32,4	32,9	33,3	33,8	34,2	35,1	
51	28,0	28,9	29,4	29,8	30,3	30,7	31,2	31,6	32,1	32,5	33,0	33,4	34,3	
52	27,3	28,2	28,7	29,1	29,6	30,0	30,4	30,9	31,4	31,8	32,2	32,7	33,5	
53	26,6	27,5	27,9	28,3	28,8	29,2	29,7	30,1	30,6	31,0	31,4	31,8	32,7	
54	25,8	26,7	27,2	27,6	28,0	28,4	28,9	29,3	29,8	30,2	30,6	31,0	31,9	
55	25,1	26,0	26,4	26,8	27,2	27,6	28,1	28,5	28,9	29,3	29,7	30,2	31,0	
56	24,4	25,3	25,7	26,1	26,5	26,9	27,4	27,8	28,2	28,6	29,0	29,4	30,2	
57	23,6	24,4	24,8	25,2	25,6	26,0	26,5	26,9	27,3	27,7	28,1	28,5	29,3	
58	22,8	23,6	24,0	24,4	24,8	25,2	25,6	26,0	26,4	26,9	27,3	27,7	28,5	
59	22,1	22,9	23,3	23,6	24,0	24,4	24,8	25,2	25,6	26,0	26,4	26,8	27,6	
60	21,3	22,1	22,5	22,8	23,2	23,6	24,0	24,4	24,8	25,1	25,5	25,9	26,7	
61	20,5	21,2	21,6	22,0	22,4	22,7	23,1	23,5	23,9	24,3	24,7	25,0	25,8	
62	19,6	20,4	20,8	21,1	21,5	21,9	22,3	22,6	23,0	23,4	23,8	24,1	24,9	
63	18,8	19,6	19,9	20,3	20,7	21,0	21,4	21,8	22,1	22,5	22,9	23,2	23,9	
64	18,0	18,7	19,1	19,4	19,8	20,2	20,6	20,9	21,2	21,6	22,0	22,3	23,0	
65	17,2	17,9	18,2	18,6	19,0	19,3	19,7	20,0	20,3	20,7	21,1	21,4	22,1	
66	16,4	17,1	17,4	17,8	18,1	18,5	18,8	19,1	19,4	19,8	20,1	20,4	21,1	
67	15,6	16,3	16,5	16,9	17,2	17,6	17,9	18,2	18,5	18,9	19,2	19,5	20,2	
68	14,7	15,4	15,6	16,0	16,3	16,6	17,0	17,3	17,6	17,9	18,3	18,6	19,3	
69	13,8	14,5	14,7	15,1	15,4	15,7	16,1	16,4	16,7	17,0	17,4	17,7	18,4	
70	12,9	13,6	13,8	14,2	14,5	14,8	15,1	15,4	15,7	16,0	16,3	16,7	17,3	
71	12,1	12,7	13,0	13,3	13,6	13,9	14,2	14,5	14,8	15,1	15,4	15,7	16,3	
72	11,2	11,8	12,1	12,3	12,6	12,9	13,2	13,5	13,8	14,1	14,4	14,7	15,3	
73	10,3	10,9	11,2	11,4	11,7	12,0	12,3	12,6	12,9	13,2	13,5	13,7	14,3	
74	9,4	10,0	10,3	10,5	10,8	11,1	11,4	11,6	11,9	12,2	12,5	12,7	13,3	
75	8,5	9,1	9,4	9,6	9,9	10,1	10,4	10,7	11,0	11,2	11,5	11,8	12,3	
76	7,7	8,2	8,5	8,7	9,0	9,2	9,5	9,7	10,0	10,2	10,5	10,8	11,3	
77	6,8	7,3	7,5	7,7	8,0	8,2	8,5	8,8	9,0	9,3	9,5	9,8	10,2	
78	5,9	6,3	6,5	6,8	7,1	7,3	7,6	7,8	8,1	8,3	8,5	8,7	9,2	
79	5,0	5,4	5,6	5,9	6,1	6,3	6,6	6,8	7,0	7,3	7,5	7,7	8,2	
80	4,1	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3	5,6	5,8	6,0	6,3	6,5	6,7	7,2	
81	3,2	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,3	5,5	5,7	6,2	
82	2,2	2,6	2,8	2,9	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,5	4,7	5,1	
83	1,3	1,7	1,9	2,1	2,2	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	4,1	
84	0,4	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,2	2,5	2,6	3,0	
85	−0,5	−0,1	0,0	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,4	1,6	2,0	
86	−1,5	−1,0	−0,9	−0,7	−0,4	−0,1	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,4	
87	−2,5	−1,9	−1,8	−1,4	−1,0	−0,5	0,0	0,2	0,4	0,6	0,7	0,9	1,3	
88	−3,5	−2,7	−2,6	−2,0	−1,5	−0,8	−0,1	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	1,1	
89	−4,5	−3,5	−3,4	−2,6	−1,9	−1,0	−0,2	0,0	0,2	0,4	0,5	0,7	1,0	
90	−5,5	−4,3	−4,2	−3,2	−2,3	−1,3	−0,4	0,0	0,2	0,3	0,4	0,6	0,9	
DIAMÈTRE de la Lune	29',4	30',0	30',3	30',6	30',8	31',1	31',4	31',7	32',0	32',2	32',5	32',8	33',3	

Pour le bord supérieur, retrancher le diamètre de la correction précédente.

TABLES DE NAVIGATION

IX Corrections des hauteurs observées de la Lune.

PREMIÈRE CORRECTION (négative)
Dépression apparente de l'horizon.

Élévation de l'œil (m)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Dépression	0,0	-2,5	-3,5	-4,3	-5,0	-5,6	-6,1	-6,6	-7,1	-7,5	-7,9	-8,3	-8,7

DEUXIÈME CORRECTION. — Bord inférieur (additive)
(— Réfraction moyenne + parallaxe + demi-diamètre)



HAUTEUR apparente	PARALLAXE HORIZONTALE													
	54'	55'	55,5	56'	56,5	57'	57,5	58'	58,5	59'	59,5	60'	61'	
5		39,9	60,6	61,2	61,8	62,4	63,1	63,7	64,4	65,0	65,6	66,2	67,4	
5 30	39,6	60,9	61,5	62,1	62,8	63,4	64,1	64,7	65,4	66,0	66,7	67,3	68,5	
6	60,2	61,4	62,1	62,7	63,4	64,0	64,7	65,3	65,9	66,5	67,2	67,8	69,1	
6 30	60,7	61,9	62,5	63,2	63,8	64,5	65,1	65,8	66,4	67,0	67,6	68,3	69,6	
7	61,1	62,4	63,0	63,6	64,2	64,9	65,5	66,2	66,8	67,4	68,0	68,7	70,0	
7 30	61,5	62,8	63,4	64,0	64,6	65,3	65,9	66,5	67,1	67,8	68,4	69,1	70,4	
8	61,8	63,1	63,7	64,3	64,9	65,6	66,2	66,8	67,5	68,1	68,7	69,4	70,7	
8 30	62,1	63,3	63,9	64,6	65,2	65,9	66,5	67,1	67,8	68,4	69,0	69,7	70,9	
9	62,3	63,6	64,2	64,8	65,4	66,1	66,7	67,4	68,0	68,6	69,2	69,9	71,1	
10	62,7	64,0	64,6	65,2	65,8	66,5	67,1	67,7	68,3	69,0	69,6	70,3	71,5	
11	63,0	64,2	64,8	65,5	66,1	66,7	67,3	68,0	68,6	69,3	69,9	70,5	71,8	
12	63,2	64,4	65,0	65,7	66,3	66,9	67,5	68,2	68,8	69,5	70,1	70,7	72,0	
13	63,3	64,6	65,2	65,8	66,4	67,0	67,6	68,3	68,9	69,6	70,2	70,8	72,1	
14	63,4	64,6	65,2	65,9	66,5	67,1	67,7	68,4	69,0	69,6	70,2	70,9	72,1	
15	63,4	64,6	65,2	65,9	66,5	67,1	67,7	68,4	69,0	69,6	70,2	70,9	72,1	
16	63,4	64,6	65,2	65,8	66,5	67,1	67,7	68,3	68,9	69,6	70,2	70,8	72,0	
17	63,3	64,5	65,2	65,8	66,4	67,0	67,6	68,2	68,8	69,5	70,1	70,7	71,9	
18	63,2	64,4	65,0	65,6	66,2	66,9	67,5	68,1	68,7	69,3	69,9	70,6	71,8	
19	63,1	64,3	64,9	65,5	66,1	66,7	67,3	67,9	68,5	69,2	69,8	70,4	71,6	
20	62,9	64,1	64,7	65,3	65,9	66,5	67,1	67,7	68,3	69,0	69,6	70,2	71,4	
21	62,7	63,9	64,5	65,1	65,7	66,3	66,9	67,5	68,1	68,7	69,3	70,0	71,2	
22	62,5	63,7	64,3	64,9	65,5	66,1	66,7	67,3	67,9	68,5	69,1	69,7	70,9	
23	62,2	63,4	64,0	64,6	65,2	65,9	66,5	67,0	67,6	68,2	68,8	69,4	70,6	
24	62,0	63,1	63,7	64,3	64,9	65,5	66,1	66,7	67,3	67,9	68,5	69,1	70,3	
25	61,7	62,8	63,4	64,0	64,6	65,2	65,8	66,4	67,0	67,6	68,2	68,8	69,9	
26	61,3	62,5	63,1	63,7	64,3	64,9	65,5	66,0	66,6	67,2	67,8	68,4	69,6	
27	61,0	62,2	62,8	63,3	63,9	64,5	65,1	65,7	66,3	66,8	67,4	68,0	69,2	
28	60,7	61,8	62,4	63,0	63,6	64,1	64,7	65,3	65,9	66,4	67,0	67,6	68,8	
29	60,3	61,4	62,0	62,6	63,2	63,7	64,3	64,9	65,5	66,0	66,6	67,2	68,4	
30	59,9	61,0	61,6	62,2	62,8	63,3	63,9	64,4	65,0	65,6	66,2	66,7	67,9	
31	59,5	60,6	61,2	61,7	62,3	62,9	63,5	64,0	64,6	65,1	65,7	66,3	67,4	
32	59,0	60,2	60,8	61,3	61,9	62,4	63,0	63,5	64,1	64,7	65,3	65,8	66,9	
33	58,6	59,7	60,3	60,8	61,4	61,9	62,5	63,1	63,6	64,2	64,8	65,3	66,4	
34	58,1	59,2	59,8	60,3	60,9	61,4	62,0	62,5	63,1	63,6	64,2	64,8	65,9	
35	57,7	58,7	59,3	59,8	60,4	60,9	61,5	62,0	62,6	63,1	63,7	64,2	65,3	
36	57,2	58,2	58,8	59,3	59,9	60,4	61,0	61,5	62,1	62,6	63,2	63,7	64,7	
37	56,7	57,7	58,3	58,8	59,4	59,9	60,4	60,9	61,5	62,0	62,6	63,1	64,2	
38	56,1	57,2	57,8	58,2	58,8	59,3	59,9	60,4	61,0	61,4	62,0	62,5	63,6	
39	55,6	56,6	57,2	57,7	58,3	58,7	59,3	59,8	60,4	60,8	61,4	61,9	62,9	
40	55,0	56,1	56,7	57,1	57,7	58,1	58,7	59,2	59,8	60,2	60,8	61,3	62,3	
41	54,4	55,5	56,1	56,5	57,1	57,5	58,1	58,6	59,2	59,6	60,1	60,6	61,6	
42	53,9	54,9	55,5	56,0	56,5	56,9	57,5	57,9	58,5	59,0	59,5	60,0	61,0	
43	53,3	54,3	54,9	55,3	55,9	56,3	56,8	57,3	57,8	58,3	58,8	59,3	60,3	
44	52,7	53,7	54,3	54,7	55,2	55,6	56,1	56,6	57,1	57,6	58,1	58,6	59,6	
45	52,0	53,0	53,5	54,0	54,5	55,0	55,5	56,0	56,4	56,9	57,4	57,9	58,9	
DIAMÈTRE de la Lune	29,4	30,0	30,3	30,6	30,8	31,1	31,4	31,7	32,0	32,2	32,5	32,8	33,3	

Pour le bord supérieur, retrancher le diamètre de la correction précédente.

La réfraction astronomique

Il nous faut tout d'abord parler de la réfraction en général.

Nous savons depuis l'école que tout rayon lumineux est dévié de sa trajectoire lorsqu'il passe d'un milieu dans un autre : de l'air dans l'eau, de l'air dans le verre (principe de la lentille), du vide dans l'air, etc. En un mot, ce phénomène, que l'on appelle la réfraction, est lié à la nature différente des corps traversés par la lumière.

$$\sin i = n \times \sin r$$

i = angle d'incidence

r = angle de réfraction

n = indice de réfraction

(du milieu 2 par
rapport au milieu 1)

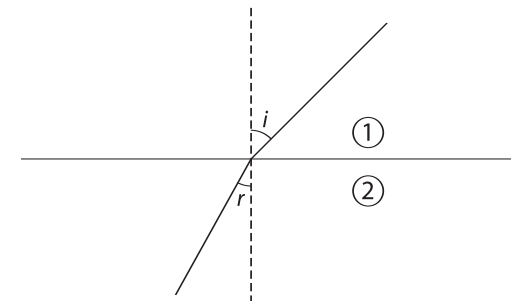


Figure 1

Que le rayon lumineux passe brutalement d'un milieu dans un autre comme de l'air dans l'eau, ou progressivement dans des milieux à indices de réfraction variables comme c'est le cas dans l'atmosphère, le résultat sera le même : le rayon sera dévié.

Dans le premier cas, la déviation sera brutale, il y aura même cassure du rayon (voir Fig. 1), dans le deuxième cas il y aura inflexion progressive du rayon à mesure que n augmentera, que la *réfringence* de l'air grandira, en fonction de la pression atmosphérique.

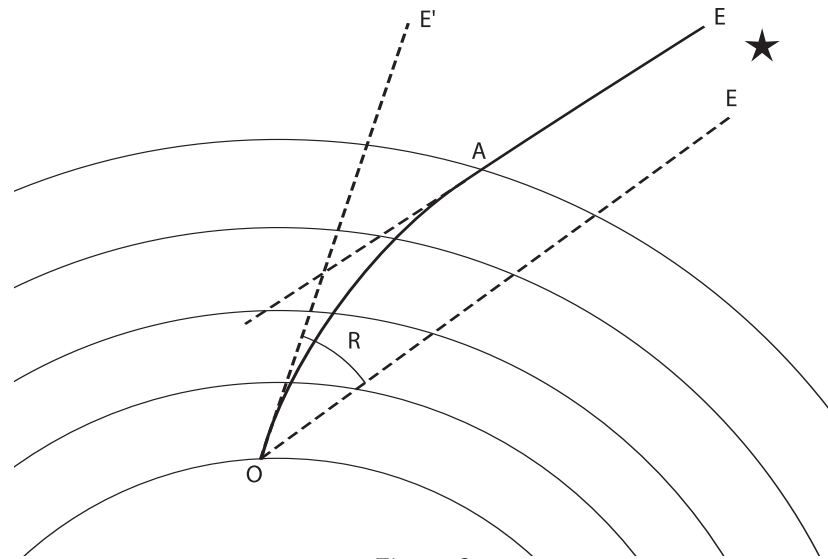


Figure 2.

L'atmosphère peut être considérée comme une superposition de couches d'air de pressions, de densités, donc d'indices de réfraction variables avec l'altitude. La lumière provenant d'une étoile y sera continuellement déviée et le rayon lumineux prendra l'allure d'une courbe à la concavité tournée vers la Terre.

L'observateur placé en O voit l'étoile selon la direction OE' (d'où semble lui parvenir le rayon lumineux) alors qu'elle se trouve en fait dans la direction OE parallèle au rayon EA .

L'angle $\widehat{EOE'} = R$ est la *réfraction astronomique* qui fait paraître les astres plus hauts qu'ils le sont dans la réalité.

La réfraction astronomique n'affecte que les hauteurs, elle n'altère en rien les azimuts des astres.

Il faudra en tenir compte pour la correction des hauteurs

TABLES DE NAVIGATION

VIII

Corrections des hauteurs observées des Étoiles et des Planètes.

(— Réfraction moyenne — dépression)

PREMIÈRE CORRECTION (soustractive)

HAUTEUR observée	ÉLÉVATION DE L'ŒIL													
	26 m	28 m	30 m	32 m	34 m	36 m	38 m	40 m	42 m	44 m	46 m	48 m	50 m	
7° 00'	16,6	16,9	17,3	17,6	17,9	18,2	18,5	18,8	19,1	19,4	19,6	19,9	20,1	
20	16,3	16,6	17,0	17,3	17,6	17,9	18,2	18,5	18,8	19,0	19,3	19,6	19,8	
40	16,0	16,3	16,7	17,0	17,3	17,6	17,9	18,2	18,5	18,7	19,0	19,3	19,5	
8° 00'	15,7	16,1	16,4	16,7	17,0	17,3	17,6	17,9	18,2	18,5	18,7	19,0	19,3	
20	15,5	15,8	16,1	16,5	16,8	17,1	17,4	17,6	17,9	18,2	18,5	18,7	19,0	
40	15,2	15,6	15,9	16,2	16,5	16,8	17,1	17,4	17,7	18,0	18,2	18,5	18,8	
9° 00'	15,0	15,4	15,7	16,0	16,3	16,6	16,9	17,2	17,5	17,8	18,0	18,3	18,5	
20	14,8	15,2	15,5	15,8	16,1	16,4	16,7	17,0	17,3	17,6	17,8	18,1	18,3	
40	14,6	15,0	15,3	15,6	15,9	16,2	16,5	16,8	17,1	17,4	17,6	17,9	18,1	
10° 00'	14,4	14,8	15,1	15,4	15,7	16,0	16,3	16,6	16,9	17,2	17,4	17,7	17,9	
20	14,3	14,6	14,9	15,3	15,6	15,9	16,2	16,4	16,7	17,0	17,3	17,5	17,8	
40	14,1	14,5	14,8	15,1	15,4	15,7	16,0	16,3	16,6	16,8	17,1	17,4	17,6	
11° 00'	14,0	14,3	14,6	14,9	15,3	15,6	15,9	16,1	16,4	16,7	16,9	17,2	17,5	
30	13,8	14,1	14,4	14,7	15,1	15,4	15,7	15,9	16,2	16,5	16,7	17,0	17,3	
12° 00'	13,6	13,9	14,2	14,5	14,9	15,2	15,5	15,7	16,0	16,3	16,5	16,8	17,1	
30	13,4	13,7	14,0	14,4	14,7	15,0	15,3	15,6	15,8	16,1	16,4	16,6	16,9	
13° 00'	13,2	13,5	13,9	14,2	14,5	14,8	15,1	15,4	15,7	15,9	16,2	16,4	16,7	
30	13,1	13,4	13,7	14,0	14,3	14,6	14,9	15,2	15,5	15,8	16,0	16,3	16,6	
14° 00'	12,9	13,2	13,6	13,9	14,2	14,5	14,8	15,1	15,4	15,6	15,9	16,1	16,4	
15° 00'	12,6	13,0	13,3	13,6	13,9	14,2	14,5	14,8	15,1	15,4	15,6	15,9	16,2	
16° 00'	12,4	12,7	13,1	13,4	13,7	14,0	14,3	14,6	14,8	15,1	15,4	15,6	15,9	
17° 00'	12,2	12,5	12,9	13,2	13,5	13,8	14,1	14,4	14,6	14,9	15,2	15,4	15,7	
18° 00'	12,0	12,4	12,7	13,0	13,3	13,6	13,9	14,2	14,5	14,7	15,0	15,3	15,5	
19° 00'	11,9	12,2	12,5	12,8	13,1	13,4	13,7	14,0	14,3	14,6	14,8	15,1	15,4	
20° 00'	11,7	12,1	12,4	12,7	13,0	13,3	13,6	13,9	14,2	14,4	14,7	15,0	15,2	
22° 00'	11,4	11,8	12,1	12,4	12,7	13,0	13,3	13,6	13,9	14,1	14,4	14,7	14,9	
24° 00'	11,2	11,6	11,9	12,2	12,5	12,8	13,1	13,4	13,7	13,9	14,2	14,5	14,7	
26° 00'	11,0	11,4	11,7	12,0	12,3	12,6	12,9	13,2	13,5	13,7	14,0	14,3	14,5	
28° 00'	10,9	11,2	11,5	11,8	12,1	12,4	12,7	13,0	13,3	13,6	13,8	14,1	14,4	
30° 00'	10,7	11,1	11,4	11,7	12,0	12,3	12,6	12,9	13,2	13,4	13,7	14,0	14,2	
32° 00'	10,6	10,9	11,2	11,6	11,9	12,2	12,5	12,8	13,0	13,3	13,6	13,8	14,1	
34° 00'	10,5	10,8	11,1	11,5	11,8	12,1	12,4	12,6	12,9	13,2	13,5	13,7	14,0	
36° 00'	10,4	10,7	11,0	11,4	11,7	12,0	12,3	12,5	12,8	13,1	13,4	13,6	13,9	
38° 00'	10,3	10,6	10,9	11,3	11,6	11,9	12,2	12,4	12,7	13,0	13,3	13,5	13,8	
40° 00'	10,2	10,5	10,9	11,2	11,5	11,8	12,1	12,4	12,6	12,9	13,2	13,4	13,7	
45° 00'	10,0	10,3	10,7	11,0	11,3	11,6	11,9	12,2	12,4	12,7	13,0	13,2	13,5	
50° 00'	9,9	10,2	10,5	10,8	11,1	11,4	11,7	12,0	12,3	12,6	12,8	13,1	13,4	
55° 00'	9,7	10,0	10,4	10,7	11,0	11,3	11,6	11,9	12,1	12,4	12,7	12,9	13,2	
60° 00'	9,6	9,9	10,2	10,6	10,9	11,2	11,5	11,7	12,0	12,3	12,6	12,8	13,1	
70° 00'	9,4	9,7	10,0	10,4	10,7	11,0	11,3	11,5	11,8	12,1	12,4	12,6	12,9	
80° 00'	9,2	9,5	9,9	10,2	10,5	10,8	11,1	11,4	11,6	11,9	12,2	12,4	12,7	
90° 00'	9,0	9,4	9,7	10,0	10,3	10,6	10,9	11,2	11,5	11,7	12,0	12,3	12,5	

Planètes. — 1980.

DEUXIÈME CORRECTION pour la parallaxe (additive)

HAUTEUR observée	VÉNUS				MARS			
	Janvier	Avril	Août	Décembre	Janvier	Avril	Août	Décembre
0°	+0,1	+0,2	+0,2	+0,1	+0,2	+0,2	+0,1	+0,1
30	+0,1	+0,2	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,1	+0,1
60	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	0,0	0,0

TABLES DE NAVIGATION

VIII

Corrections des hauteurs observées des Étoiles et des Planètes.

(— Réfraction moyenne — dépression)

PREMIÈRE CORRECTION (soustractive)

HAUTEUR observée	ÉLÉVATION DE L'ŒIL													
	0 m	2 m	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m	14 m	16 m	18 m	20 m	22 m	24 m	
7° 0'	7,4	10,0	11,0	11,8	12,5	13,1	13,7	14,2	14,6	15,1	15,5	15,9	16,2	
20	7,1	9,7	10,7	11,5	12,2	12,8	13,3	13,8	14,3	14,7	15,1	15,5	15,9	
40	6,8	9,4	10,4	11,2	11,9	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	14,9	15,3	15,6	
8 00	6,6	9,1	10,2	11,0	11,7	12,3	12,8	13,3	13,7	14,2	14,6	15,0	15,4	
20	6,3	8,9	9,9	10,7	11,4	12,0	12,5	13,0	13,5	13,9	14,3	14,7	15,1	
40	6,1	8,6	9,7	10,5	11,2	11,8	12,3	12,8	13,3	13,7	14,1	14,5	14,9	
9 00	5,9	8,4	9,5	10,3	11,0	11,6	12,1	12,6	13,0	13,5	13,9	14,3	14,7	
20	5,7	8,2	9,3	10,1	10,8	11,4	11,9	12,4	12,8	13,3	13,7	14,1	14,5	
40	5,5	8,0	9,1	9,9	10,6	11,2	11,7	12,2	12,6	13,1	13,5	13,9	14,3	
10 00	5,3	7,8	8,9	9,7	10,4	11,0	11,5	12,0	12,5	12,9	13,3	13,7	14,1	
20	5,2	7,7	8,7	9,5	10,2	10,8	11,3	11,8	12,3	12,7	13,1	13,5	13,9	
40	5,0	7,5	8,6	9,4	10,1	10,7	11,2	11,7	12,1	12,6	13,0	13,4	13,7	
11 00	4,9	7,4	8,4	9,2	9,9	10,5	11,0	11,5	12,0	12,4	12,8	13,2	13,6	
30	4,7	7,2	8,2	9,0	9,7	10,3	10,8	11,3	11,8	12,2	12,6	13,0	13,4	
12 00	4,5	7,0	8,0	8,8	9,5	10,1	10,6	11,1	11,6	12,0	12,4	12,8	13,2	
30	4,3	6,8	7,8	8,7	9,3	9,9	10,5	11,0	11,4	11,9	12,3	12,6	13,0	
13 00	4,1	6,6	7,7	8,5	9,2	9,8	10,3	10,8	11,2	11,7	12,1	12,5	12,8	
30	4,0	6,5	7,5	8,3	9,0	9,6	10,1	10,6	11,1	11,5	11,9	12,3	12,7	
14 00	3,8	6,3	7,4	8,2	8,9	9,5	10,0	10,5	10,9	11,4	11,8	12,2	12,5	
15 00	3,6	6,1	7,1	7,9	8,6	9,2	9,7	10,2	10,7	11,1	11,5	11,9	12,3	
16 00	3,3	5,9	6,9	7,7	8,4	9,0	9,5	10,0	10,4	10,9	11,3	11,7	12,0	
17 00	3,1	5,7	6,7	7,5	8,2	8,8	9,3	9,8	10,2	10,7	11,1	11,5	11,8	
18 00	3,0	5,5	6,5	7,3	8,0	8,6	9,1	9,6	10,1	10,5	10,9	11,3	11,7	
19 00	2,8	5,3	6,3	7,1	7,8	8,4	8,9	9,4	9,9	10,3	10,7	11,1	11,5	
20 00	2,7	5,2	6,2	7,0	7,7	8,3	8,8	9,3	9,8	10,2	10,6	11,0	11,3	
22 00	2,4	4,9	5,9	6,7	7,4	8,0	8,5	9,0	9,5	9,9	10,3	10,7	11,1	
24 00	2,2	4,7	5,7	6,5	7,2	7,8	8,3	8,8	9,3	9,7	10,1	10,5	10,9	
26 00	2,0	4,5	5,5	6,3	7,0	7,6	8,1	8,6	9,1	9,5	9,9	10,3	10,7	
28 00	1,8	4,3	5,4	6,2	6,8	7,4	8,0	8,5	8,9	9,3	9,7	10,1	10,5	
30 00	1,7	4,2	5,2	6,0	6,7	7,3	7,8	8,3	8,8	9,2	9,6	10,0	10,4	
32 00	1,5	4,0	5,1	5,9	6,6	7,2	7,7	8,2	8,6	9,1	9,5	9,9	10,2	
34 00	1,4	3,9	5,0	5,8	6,5	7,1	7,6	8,1	8,5	9,0	9,4	9,8	10,1	
36 00	1,3	3,8	4,9	5,7	6,4	7,0	7,5	8,0	8,4	8,9	9,3	9,7	10,0	
38 00	1,2	3,7	4,8	5,6	6,3	6,9	7,4	7,9	8,3	8,8	9,2	9,6	9,9	
40 00	1,2	3,7	4,7	5,5	6,2	6,8	7,3	7,8	8,2	8,7	9,1	9,5	9,8	
45 00	1,0	3,5	4,5	5,3	6,0	6,6	7,1	7,6	8,0	8,5	8,9	9,3	9,6	
50 00	0,8	3,3	4,4	5,2	5,8	6,4	6,9	7,4	7,9	8,3	8,7	9,1	9,5	
55 00	0,7	3,2	4,2	5,0	5,7	6,3	6,8	7,3	7,8	8,2	8,6	9,0	9,3	
60 00	0,6	3,1	4,1	4,9	5,6	6,2	6,7	7,2	7,6	8,1	8,5	8,9	9,2	
70 00	0,4	2,9	3,9	4,7	5,4	6,0	6,5	7,0	7,4	7,9	8,3	8,7	9,0	
80 00	0,2	2,7	3,7	4,5	5,2	5,8	6,3	6,8	7,2	7,7	8,1	8,5	8,8	
90 00	0,0	2,5	3,5	4,3	5,0	5,6	6,1	6,6	7,1	7,5	7,9	8,3	8,7	

Planètes. — 1980.

DEUXIÈME CORRECTION pour la parallaxe (additive)

HAUTEUR observée	VÉNUS				MARS			
	Janvier	Avril	Août	Décembre	Janvier	Avril	Août	Décembre
0°	+0,1	+0,2	+0,2	+0,1	+0,2	+0,2	+0,1	+0,1
30	+0,1	+0,2	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,1	+0,1
60	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	0,0	0,0

des astres observés, que nous allons étudier maintenant, en soustrayant la réfraction astronomique de la hauteur observée :

$$\text{Hauteur corrigée} = \text{Hauteur réfractée} - R$$

Nous reprendrons en fin d'exposé la suite des phénomènes liés à la présence de l'atmosphère.

Correction des hauteurs

La hauteur apparente d'une étoile (hauteur observée), est différente de sa hauteur vraie. La hauteur vraie est celle qui résultera d'un calcul astronomique ou que l'on prendra au contraire comme donnée de départ d'un calcul.

Dans tous les calculs et considérations où il est question de hauteur d'astre il s'agit toujours de hauteur vraie mesurée au centre de la Terre et prise par rapport à l'horizon vrai du lieu d'observation (horizon idéal passant par le centre de la Terre).

On doit donc dans tous les cas corriger les hauteurs observées.

H_v = hauteur vraie de l'étoile E

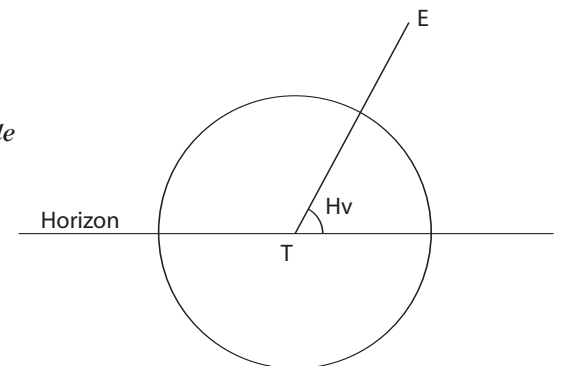


Figure 3

Réfraction terrestre

Nous avons vu que le rayon lumineux issu d'une étoile était dévié par l'atmosphère. Si l'observateur se trouve en *A* (Fig. 4) à une certaine hauteur au dessus de la surface terrestre, et qu'il observe un point *B*, situé sur cette surface, le rayon lumineux qui joint *A* à *B* ne sera pas rectiligne car il traversera des couches atmosphériques de densité variable.

Comme pour la réfraction astronomique, la concavité de la courbe sera tournée vers la Terre et le point *B* apparaîtra dans la direction *B'* relevée par rapport à la direction *AB*.

On appelle ce phénomène la réfraction terrestre, elle est représentée par l'angle α (alpha).

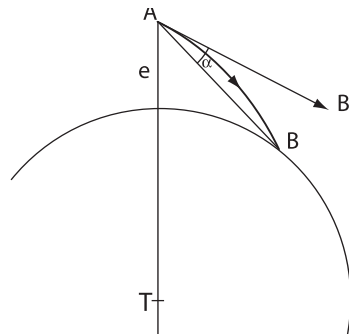


Figure 4

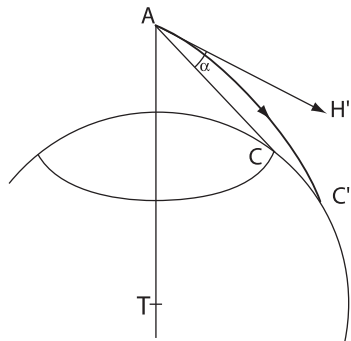


Figure 5

Au lieu que le rayon lumineux s'arrête en *C*, il ira jusqu'en *C'* à cause de la réfraction, et l'horizon semblera être dans la direction *AH'*.

Si au lieu de considérer un point *B* quelconque de la surface de la Terre on considère l'horizon visible, qui est la ligne de séparation de la Terre (ou de la mer) et du ciel, du fait de la réfraction terrestre on pourra apercevoir au delà du cercle de tangence du cône de sommet *A* circonscrit à la sphère terrestre.

TABLES DE NAVIGATION

VII

Correction des hauteurs observées du Soleil.
(— Réfraction moyenne — dépression + parallaxe + demi-diamètre)
PREMIÈRE CORRECTION.

HAUTEUR observée	ÉLÉVATION DE L'ŒIL												
	26 m	28 m	30 m	32 m	34 m	36 m	38 m	40 m	42 m	44 m	46 m	48 m	50 m
7 00	— 0,4	— 0,8	— 1,1	— 1,4	— 1,8	— 2,1	— 2,4	— 2,6	— 2,9	— 3,2	— 3,5	— 3,7	— 4,0
20	— 0,1	0,5	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,1	3,4	3,7
40	+ 0,2	— 0,2	0,5	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,8	3,1	3,4
8 00	0,4	+ 0,1	— 0,2	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,0	2,3	2,6	2,8	3,1
20	0,7	0,4	0,0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,0	2,3	2,6	2,8
40	0,9	0,6	+ 0,3	— 0,1	0,4	0,7	1,0	1,3	1,5	1,8	2,1	2,3	2,6
9 00	+ 1,1	+ 0,8	+ 0,5	+ 0,2	— 0,2	— 0,5	— 0,8	— 1,0	— 1,3	— 1,6	— 1,9	— 2,1	— 2,4
20	1,3	1,0	0,7	0,4	0,0	— 0,3	— 0,6	— 0,8	— 1,1	— 1,4	— 1,7	— 1,9	— 2,2
40	1,5	1,2	0,9	0,6	+ 0,2	— 0,1	— 0,4	— 0,6	— 0,9	— 1,2	— 1,5	— 1,7	— 2,0
10 00	1,7	1,4	1,1	0,7	0,4	+ 0,1	— 0,2	— 0,4	— 0,7	— 1,0	— 1,3	— 1,5	— 1,8
20	1,9	1,6	1,2	0,9	0,6	0,3	0,0	— 0,3	— 0,6	— 0,8	— 1,1	— 1,4	— 1,6
40	2,1	1,7	1,4	1,1	0,8	0,5	+ 0,2	— 0,1	— 0,4	— 0,7	— 0,9	— 1,2	— 1,5
11 00	+ 2,2	+ 1,9	+ 1,5	+ 1,2	+ 0,9	+ 0,6	+ 0,3	0,0	— 0,3	— 0,5	— 0,8	— 1,0	— 1,3
30	2,4	2,1	1,7	1,4	1,1	0,8	0,5	+ 0,2	— 0,1	— 0,3	— 0,6	— 0,8	— 1,1
12 00	2,6	2,3	1,9	1,6	1,3	1,0	0,7	0,4	+ 0,1	— 0,1	— 0,4	— 0,6	— 0,9
30	2,8	2,4	2,1	1,8	1,5	1,2	0,9	0,6	0,3	+ 0,1	— 0,2	— 0,5	— 0,7
13 00	2,9	2,6	2,3	2,0	1,7	1,4	1,1	0,8	0,5	0,2	0,0	0,3	0,6
30	3,1	2,8	2,4	2,1	1,8	1,5	1,2	0,9	0,6	0,4	+ 0,1	— 0,1	0,4
14 00	+ 3,2	+ 2,9	+ 2,6	+ 2,3	+ 2,0	+ 1,7	+ 1,4	+ 1,1	+ 0,8	+ 0,5	+ 0,3	0,0	— 0,2
15 00	3,5	3,2	2,8	2,5	2,2	1,9	1,6	1,3	1,1	0,8	0,5	+ 0,3	0,0
16 00	3,7	3,4	3,1	2,8	2,5	2,2	1,9	1,6	1,3	1,0	0,8	0,5	+ 0,2
17 00	3,9	3,6	3,3	3,0	2,7	2,4	2,1	1,8	1,5	1,2	1,0	0,7	0,4
18 00	4,1	3,8	3,5	3,2	2,8	2,5	2,3	2,0	1,7	1,4	1,2	0,9	0,6
19 00	4,3	4,0	3,6	3,3	3,0	2,7	2,4	2,1	1,9	1,6	1,3	1,1	0,8
20 00	+ 4,4	+ 4,1	+ 3,8	+ 3,5	+ 3,1	+ 2,8	+ 2,6	+ 2,3	+ 2,0	+ 1,7	+ 1,5	+ 1,2	+ 0,9
22 00	4,7	4,4	4,1	3,7	3,4	3,1	2,8	2,5	2,3	2,0	1,7	1,5	1,2
24 00	4,9	4,6	4,3	3,9	3,6	3,3	3,0	2,8	2,5	2,2	1,9	1,7	1,4
26 00	5,1	4,8	4,5	4,1	3,8	3,5	3,2	3,0	2,7	2,4	2,1	1,9	1,6
28 00	5,3	4,9	4,6	4,3	4,0	3,7	3,4	3,1	2,8	2,5	2,3	2,1	1,8
30 00	5,4	5,1	4,8	4,4	4,1	3,8	3,5	3,3	3,0	2,7	2,5	2,2	1,9
32 00	+ 5,5	+ 5,2	+ 4,9	+ 4,6	+ 4,3	+ 4,0	+ 3,7	+ 3,4	+ 3,1	+ 2,8	+ 2,6	+ 2,3	+ 2,1
34 00	5,6	5,3	5,0	4,7	4,4	4,1	3,8	3,5	3,2	2,9	2,7	2,4	2,2
36 00	5,7	5,4	5,1	4,8	4,5	4,2	3,9	3,6	3,3	3,0	2,8	2,5	2,3
38 00	5,8	5,5	5,2	4,9	4,6	4,3	4,0	3,7	3,4	3,1	2,9	2,6	2,3
40 00	5,9	5,6	5,3	4,9	4,6	4,3	4,0	3,8	3,5	3,2	3,0	2,7	2,4
45 00	6,1	5,8	5,5	5,1	4,8	4,5	4,2	3,9	3,7	3,4	3,1	2,9	2,6
50 00	+ 6,3	+ 5,9	+ 5,6	+ 5,3	+ 5,0	+ 4,7	+ 4,4	+ 4,1	+ 3,8	+ 3,5	+ 3,3	+ 3,0	+ 2,7
55 00	6,4	6,0	5,7	5,4	5,1	4,8	4,5	4,2	3,9	3,7	3,4	3,2	2,9
60 00	6,5	6,1	5,8	5,5	5,2	4,9	4,6	4,3	4,0	3,8	3,5	3,3	3,0
70 00	6,7	6,3	6,0	5,7	5,4	5,1	4,8	4,5	4,2	4,0	3,7	3,5	3,2
80 00	6,8	6,5	6,2	5,9	5,6	5,3	5,0	4,7	4,4	4,1	3,9	3,6	3,4
90 00	+ 7,0	+ 6,6	+ 6,3	+ 6,0	+ 5,7	+ 5,4	+ 5,1	+ 4,8	+ 4,5	+ 4,3	+ 4,0	+ 3,7	+ 3,5

DEUXIÈME CORRECTION (Bord inférieur).

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
+ 0,3	+ 0,2	+ 0,1	0,0	— 0,2	— 0,2	— 0,2	— 0,2	— 0,1	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,3

DEUXIÈME CORRECTION (Bord supérieur).

— 32,3	— 32,2	— 32,1	— 32,0	— 31,8	— 31,8	— 31,8	— 31,8	— 31,9	— 32,1	— 32,2	— 32,3
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

TABLES DE NAVIGATION

VII

Correction des hauteurs observées du Soleil.
(— Réfraction moyenne — dépression + parallaxe + demi-diamètre)
PREMIÈRE CORRECTION.

HAUTEUR observée	ÉLEVATION DE L'ŒIL													
	0 m	2 m	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m	14 m	16 m	18 m	20 m	22 m	24 m	
7 00	+ 8,7	+ 6,2	+ 5,1	+ 4,3	+ 3,6	+ 3,0	+ 2,5	+ 2,0	+ 1,5	+ 1,1	+ 0,7	+ 0,3	— 0,1	
20	9,0	6,5	5,4	4,6	4,0	3,4	2,8	2,3	1,9	1,4	1,0	0,6	+ 0,2	
40	9,3	6,8	5,7	4,9	4,2	3,6	3,1	2,6	2,2	1,7	1,3	0,9	0,5	
8 00	9,6	7,1	6,0	5,2	4,5	3,9	3,4	2,9	2,4	2,0	1,6	1,2	0,8	
20	9,8	7,3	6,3	5,4	4,8	4,2	3,6	3,1	2,7	2,2	1,8	1,4	1,1	
40	10,1	7,5	6,5	5,7	5,0	4,4	3,9	3,4	2,9	2,5	2,1	1,7	1,3	
9 00	+10,3	+ 7,7	+ 6,7	+ 5,9	+ 5,2	+ 4,6	+ 4,1	+ 3,6	+ 3,1	+ 2,7	+ 2,3	+ 1,9	+ 1,5	
20	10,5	7,9	6,9	6,1	5,4	4,8	4,3	3,8	3,3	2,9	2,5	2,1	1,7	
40	10,7	8,1	7,1	6,3	5,6	5,0	4,5	4,0	3,5	3,1	2,7	2,3	1,9	
10 00	10,8	8,3	7,3	6,5	5,8	5,2	4,7	4,2	3,7	3,3	2,9	2,5	2,1	
20	11,0	8,5	7,4	6,6	5,9	5,3	4,8	4,3	3,9	3,4	3,0	2,6	2,3	
40	11,2	8,6	7,6	6,8	6,1	5,5	5,0	4,5	4,0	3,6	3,2	2,8	2,4	
11 00	+11,3	+ 8,8	+ 7,7	+ 6,9	+ 6,3	+ 5,7	+ 5,1	+ 4,6	+ 4,2	+ 3,7	+ 3,3	+ 2,9	+ 2,6	
30	11,5	9,0	7,9	7,1	6,5	5,9	5,3	4,8	4,4	3,9	3,5	3,1	2,8	
12 00	11,7	9,2	8,1	7,3	6,7	6,1	5,5	5,0	4,6	4,1	3,7	3,3	3,0	
30	11,9	9,4	8,3	7,5	6,8	6,2	5,7	5,2	4,8	4,3	3,9	3,5	3,2	
13 00	12,0	9,5	8,5	7,7	7,0	6,4	5,9	5,4	4,9	4,5	4,1	3,7	3,3	
30	12,2	9,7	8,6	7,8	7,1	6,5	6,0	5,5	5,1	4,6	4,2	3,8	3,5	
14 00	+12,3	+ 9,8	+ 8,8	+ 8,0	+ 7,3	+ 6,7	+ 6,2	+ 5,7	+ 5,2	+ 4,8	+ 4,4	+ 4,0	+ 3,6	
15 00	12,6	10,1	9,0	8,2	7,5	6,9	6,4	5,9	5,5	5,0	4,6	4,2	3,9	
16 00	12,8	10,3	9,3	8,5	7,8	7,2	6,7	6,2	5,7	5,3	4,9	4,5	4,1	
17 00	13,0	10,5	9,5	8,7	8,0	7,4	6,9	6,4	5,9	5,5	5,1	4,7	4,3	
18 00	13,2	10,7	9,6	8,8	8,2	7,6	7,1	6,6	6,1	5,7	5,3	4,9	4,5	
19 00	13,4	10,8	9,8	9,0	8,3	7,7	7,2	6,7	6,3	5,8	5,4	5,0	4,7	
20 00	+13,5	+11,0	+ 9,9	+ 9,1	+ 8,5	+ 7,9	+ 7,4	+ 6,9	+ 6,4	+ 6,0	+ 5,6	+ 5,2	+ 4,8	
22 00	13,8	11,3	10,2	9,4	8,7	8,1	7,6	7,1	6,7	6,2	5,8	5,4	5,1	
24 00	14,0	11,5	10,4	9,6	8,9	8,3	7,8	7,3	6,9	6,4	6,0	5,7	5,3	
26 00	14,2	11,7	10,6	9,8	9,1	8,5	8,0	7,5	7,1	6,6	6,2	5,9	5,5	
28 00	14,3	11,8	10,8	10,0	9,3	8,7	8,2	7,7	7,2	6,8	6,4	6,0	5,6	
30 00	14,5	12,0	10,9	10,1	9,4	8,8	8,3	7,8	7,4	6,9	6,5	6,2	5,8	
32 00	+14,6	+12,1	+11,0	+10,2	+ 9,6	+ 9,0	+ 8,5	+ 8,0	+ 7,5	+ 7,1	+ 6,7	+ 6,3	+ 5,9	
34 00	14,7	12,2	11,1	10,3	9,7	9,1	8,6	8,1	7,6	7,2	6,8	6,4	6,0	
36 00	14,8	12,3	11,2	10,4	9,8	9,2	8,7	8,2	7,7	7,3	6,9	6,5	6,1	
38 00	14,9	12,4	11,3	10,5	9,9	9,3	8,8	8,3	7,8	7,4	7,0	6,6	6,2	
40 00	15,0	12,5	11,4	10,6	10,0	9,4	8,8	8,3	7,9	7,4	7,0	6,7	6,3	
45 00	15,1	12,6	11,6	10,8	10,1	9,5	9,0	8,5	8,1	7,6	7,2	6,8	6,5	
50 00	+15,3	+12,8	+11,7	+10,9	+10,3	+ 9,7	+ 9,2	+ 8,7	+ 8,2	+ 7,8	+ 7,4	+ 7,0	+ 6,6	
55 00	15,4	12,9	11,9	11,1	10,4	9,8	9,3	8,8	8,3	7,9	7,5	7,1	6,7	
60 00	15,5	13,0	12,0	11,2	10,5	9,9	9,4	8,9	8,4	8,0	7,6	7,2	6,8	
70 00	15,7	13,2	12,2	11,4	10,7	10,1	9,6	9,1	8,6	8,2	7,8	7,4	7,0	
80 00	15,9	13,4	12,3	11,5	10,9	10,3	9,7	9,2	8,8	8,4	8,0	7,6	7,2	
90 00	+16,0	+13,5	+12,3	+11,7	+11,0	+10,4	+ 9,9	+ 9,4	+ 8,9	+ 8,5	+ 8,1	+ 7,7	+ 7,3	

DEUXIÈME CORRECTION (Bord inférieur).

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
+ 0,3	+ 0,2	+ 0,1	0,0	— 0,2	— 0,2	— 0,2	— 0,2	— 0,1	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,3

DEUXIÈME CORRECTION (Bord supérieur).

—32,3	—32,2	—32,1	—32,0	—31,8	—31,8	—31,8	—31,8	—31,9	—32,1	—32,2	—32,3
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Dépression de l'horizon

L'horizon d'un lieu étant par définition la surface perpendiculaire à la verticale de ce lieu (le fil à plomb), $DH1$ perpendiculaire à la verticale TZ représente l'horizon pour l'observateur dont l'œil est en D au ras du sol (Fig. 6)

Pour un observateur qui n'est pas situé au ras du sol, mais en A , à une élévation e au-dessus de celui-ci, l'horizon vrai sera $AH2$ parallèle à $DH1$. C'est par rapport à cet horizon $AH2$ que devront être mesurées les hauteurs d'astres.

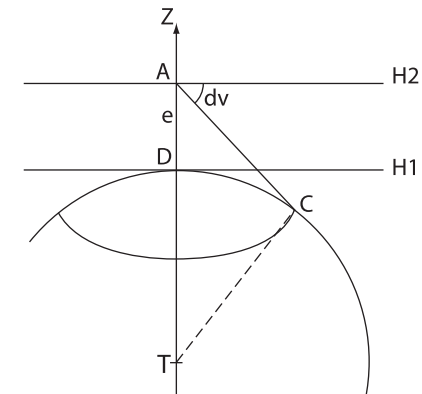


Figure 6

Mais cet horizon vrai n'étant pas matérialisé, l'observateur A utilisera l'horizon visible AC comme base de départ de ses mesures de hauteurs d'astres, quitte à enlever de sa hauteur observée, l'angle $\widehat{CAH2}$ facile à calculer en fonction de e et du rayon terrestre TC (ou TD).

$$\cos \widehat{CAH2} = R / R + e$$

Avec $R = 6\,367\,500$ mètres et en simplifiant car e est négligeable devant R on obtient :

$$\widehat{CAH2} = 1'93 \sqrt{e} \quad (\text{avec } e \text{ en mètres})$$

Cet angle $\widehat{CAH2}$ s'appelle la *dépression vraie* de l'horizon, on la désigne par dv .

Nous avons vu sur la figure 5 que le rayon lumineux, au lieu de s'arrêter en C ira jusqu'en C' à cause de la réfraction terrestre, et l'horizon semblera être dans la direction AH' au lieu de AC . Il ne s'agit donc plus de considérer l'angle dv dépression vraie, mais l'angle $da = \widehat{H'AH2}$ qui est la dépression apparente de l'horizon, avec :

$$da = dv - \alpha$$

où α comme on l'a vu fig. 4 est la réfraction terrestre.

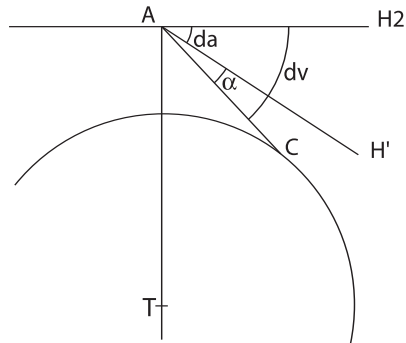


Figure 7

Considérant la réfraction astronomique R (voir Fig. 2) qui nous fait paraître les astres plus hauts qu'ils le sont dans la réalité, on voit que de nombreuses corrections sont nécessaires pour ramener la hauteur observée à la hauteur vraie.

Pour le moment, observant l'angle $\widehat{H'AE'}$, il nous faut pour le ramener à $\widehat{H2AE}$:

- enlever R , la réfraction astronomique
- enlever dv , la dépression vraie de l'horizon
- ajouter α , la réfraction terrestre.

TABLES DE NAVIGATION

II. — Corrections des réfractions moyennes, d'après la température.

THERMO- MÈTRE	RÉFRACTION MOYENNE								
	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'
+42	0,11	0,21	0,32	0,43	0,53	0,64	0,75	0,85	0,96
40	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,81	0,91
+38	0,10	0,19	0,28	0,38	0,47	0,57	0,66	0,76	0,85
36	0,09	0,18	0,27	0,35	0,44	0,53	0,62	0,71	0,80
34	0,08	0,17	0,25	0,33	0,41	0,49	0,58	0,66	0,74
32	0,08	0,15	0,23	0,30	0,38	0,45	0,53	0,61	0,68
30	0,07	0,14	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	0,56	0,63
+28	0,06	0,13	0,19	0,25	0,31	0,38	0,44	0,50	0,57
26	0,06	0,11	0,17	0,23	0,28	0,34	0,39	0,45	0,51
24	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
22	0,04	0,09	0,13	0,17	0,21	0,26	0,30	0,34	0,38
20	0,04	0,07	0,11	0,14	0,18	0,22	0,25	0,29	0,32
+18	0,03	0,06	0,09	0,11	0,14	0,17	0,20	0,23	0,26
16	0,02	0,04	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,20
14	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	0,13
12	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+8	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07
6	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10
4	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,12
2	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14
0	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16
-2	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18
4	0,06	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
6	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22
8	0,08	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23
10	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24
-12	0,10	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25
14	0,11	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26
-16	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27

III. Corrections des réfractions moyennes, d'après la pression atmosphérique.

Additives	RÉFRACTION MOYENNE								
	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'
800	0,05	0,10	0,16	0,21	0,27	0,32	0,37	0,42	0,48
795	0,05	0,09	0,14	0,19	0,23	0,28	0,32	0,37	0,42
790	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36
785	0,03	0,06	0,10	0,13	0,17	0,20	0,23	0,26	0,30
780	0,03	0,05	0,08	0,11	0,14	0,16	0,18	0,21	0,24
775	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18
770	0,01	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12
765	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06
760	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

IV. — Dépression apparente de l'horizon.

ÉLÉVATION de l'œil	DÉPRESSION	ÉLÉVATION de l'œil	DÉPRESSION	ÉLÉVATION de l'œil	DÉPRESSION	ÉLÉVATION de l'œil	DÉPRESSION
0,5	1,25	8,5	5,01	24	8,11	38	10,62
1	1,77	9	5,16	22	8,30	37	10,77
1,5	2,17	9,5	5,31	23	8,49	38	10,91
2	2,50	10	5,46	24	8,67	39	11,05
2,5	2,80	10,5	5,60	25	8,83	40	11,19
3	3,07	11	5,87	26	9,03	41	11,33
3,5	3,31	12	6,13	27	9,20	42	11,47
4	3,54	13	6,38	28	9,37	43	11,61
4,5	3,75	14	6,62	29	9,53	44	11,74
5	3,96	15	6,86	30	9,69	45	11,87
5,5	4,15	16	7,08	31	9,85	46	12,00
6	4,34	17	7,30	32	10,01	47	12,13
6,5	4,51	18	7,51	33	10,17	48	12,26
7	4,68	19	7,72	34	10,32	49	12,39
7,5	4,83	20	7,92	35	10,47	50	12,52

V. — Parallaxe de hauteur du Soleil.

HAUTEUR	PARALLAXE	HAUTEUR	PARALLAXE	HAUTEUR	PARALLAXE	HAUTEUR	PARALLAXE
0°	0,13	25°	0,13	50°	0,09	75°	0,04
5	0,13	30	0,13	55	0,08	80	0,03
10	0,13	35	0,12	60	0,07	85	0,01
15	0,14	40	0,11	65	0,06	90	0,00
20	0,14	45	0,10	70	0,05		
25	0,13	50	0,09	75	0,04		

VI. — Demi-diamètre de la Lune.

PARALLAXE	DEMI-DIAMÈTRE	VARIATION de la parallaxe	VARIATION du demi-diamètre
53	14,44	0,1	0,027
54	14,71	0,2	0,034
55	14,98	0,3	0,039
56	15,26	0,4	0,043
57	15,53	0,5	0,046
58	15,80	0,6	0,049
59	16,08	0,7	0,051
60	16,35	0,8	0,053
61	16,62	0,9	0,055

TABLES DE NAVIGATION

I. — Réfractions astronomiques moyennes.

Baromètre = 760 millimètres. Thermomètre Celsius = +10°.

HAUTEUR apparente	RÉFRACTION	DIFFÉRENCE pour 10'	HAUTEUR apparente	RÉFRACTION	DIFFÉRENCE pour 10'	HAUTEUR apparente	RÉFRACTION	DIFFÉRENCE pour 10'	HAUTEUR apparente	RÉFRACTION	DIFFÉRENCE pour 10'	HAUTEUR apparente	RÉFRACTION	DIFFÉRENCE pour 10'	HAUTEUR apparente	RÉFRACTION	DIFFÉRENCE pour 10'
0° 00'	33,80	1,88	7° 00'	7,43	0,16	14° 00'	3,83	0,04	21° 00'	2,51	0,021	63° 00'	0,49	0,003			
10	31,92	1,75	10	7,27	0,15	10	3,79	0,03	22	2,39	0,019	64	0,47	0,003			
20	30,17	1,62	20	7,12	0,14	20	3,74	0,04	23	2,28	0,017	65	0,45	0,003			
30	28,55	1,50	30	6,98	0,14	30	3,70	0,04	24	2,17	0,016	66	0,43	0,003			
40	27,05	1,39	40	6,84	0,13	40	3,66	0,04	25	2,07	0,015	67	0,41	0,003			
50	25,66	1,29	50	6,71	0,13	50	3,62	0,04	26	1,98	0,014	68	0,39	0,003			
1 00	24,37	1,19	8 00	6,58	0,13	15 00	3,58	0,04	27	1,90	0,013	69	0,37	0,003			
10	23,18	1,11	10	6,45	0,12	10	3,54	0,04	28	1,82	0,012	70	0,35	0,003			
20	22,07	1,03	20	6,33	0,11	20	3,50	0,04	29	1,75	0,011	71	0,33	0,003			
30	21,04	0,95	30	6,22	0,11	30	3,46	0,04	30	1,68	0,011	72	0,31	0,003			
40	20,09	0,88	40	6,11	0,11	40	3,42	0,04	31	1,61	0,010	73	0,30	0,003			
50	19,21	0,82	50	6,00	0,11	50	3,38	0,04	32	1,55	0,010	74	0,28	0,003			
2 00	18,39	0,77	9 00	5,89	0,10	16 00	3,34	0,03	33	1,49	0,009	75	0,26	0,003			
10	17,62	0,72	10	5,79	0,09	10	3,31	0,03	34	1,44	0,009	76	0,24	0,003			
20	16,90	0,67	20	5,70	0,10	20	3,28	0,04	35	1,39	0,008	77	0,22	0,003			
30	16,23	0,62	30	5,60	0,09	30	3,24	0,03	36	1,34	0,008	78	0,21	0,003			
40	15,61	0,58	40	5,51	0,09	40	3,21	0,03	37	1,29	0,008	79	0,19	0,003			
50	15,03	0,53	50	5,42	0,09	50	3,18	0,04	38	1,24	0,007	80	0,17	0,003			
3 00	14,48	0,52	10 00	5,33	0,08	17 00	3,14	0,03	39	1,20	0,007	81	0,15	0,003			
10	13,96	0,48	10	5,25	0,08	10	3,11	0,03	40	1,16	0,007	82	0,14	0,003			
20	13,48	0,45	20	5,17	0,08	20	3,08	0,03	41	1,12	0,006	83	0,12	0,003			
30	13,03	0,43	30	5,09	0,08	30	3,05	0,03	42	1,08	0,006	84	0,10	0,003			
40	12,60	0,41	40	5,01	0,07	40	3,02	0,03	43	1,04	0,006	85	0,08	0,003			
50	12,19	0,38	50	4,94	0,07	50	2,99	0,03	44	1,00	0,006	86	0,07	0,003			
4 00	11,81	0,36	11 00	4,87	0,07	18 00	2,96	0,03	45	0,97	0,005	87	0,05	0,003			
10	11,45	0,34	10	4,80	0,07	10	2,93	0,03	46	0,94	0,005	88	0,03	0,003			
20	11,11	0,32	20	4,73	0,07	20	2,90	0,02	47	0,91	0,005	89	0,02	0,003			
30	10,79	0,31	30	4,66	0,07	30	2,88	0,03	48	0,88	0,005	90	0,00	0,003			
40	10,48	0,29	40	4,59	0,06	40	2,85	0,03	49	0,85	0,005						
50	10,19	0,28	50	4,53	0,06	50	2,82	0,02	50	0,82	0,005						
5 00	9,91	0,26	12 00	4,47	0,06	19 00	2,80	0,03	51	0,79	0,005						
10	9,65	0,25	10	4,41	0,06	10	2,77	0,03	52	0,76	0,004						
20	9,40	0,24	20	4,35	0,06	20	2,74	0,02	53	0,73	0,004						
30	9,16	0,23	30	4,29	0,06	30	2,72	0,02	54	0,70	0,004						
40	8,93	0,22	40	4,23	0,05	40	2,70	0,03	55	0,68	0,004						
50	8,71	0,21	50	4,18	0,05	50	2,67	0,02	56	0,66	0,004						
6 00	8,50	0,20	13 00	4,13	0,05	20 00	2,65	0,03	57	0,63	0,004						
10	8,30	0,19	10	4,08	0,05	10	2,62	0,02	58	0,61	0,004						
20	8,11	0,18	20	4,03	0,05	20	2,60	0,02	59	0,58	0,004						
30	7,93	0,17	30	3,98	0,05	30	2,58	0,02	60	0,56	0,004						
40	7,76	0,17	40	3,93	0,05	40	2,56	0,03	61	0,54	0,004						
50	7,59	0,16	50	3,88	0,05	50	2,53	0,02	62	0,52	0,004						
7 00	7,43		14 00	3,83		21 00	2,51		63	0,49							

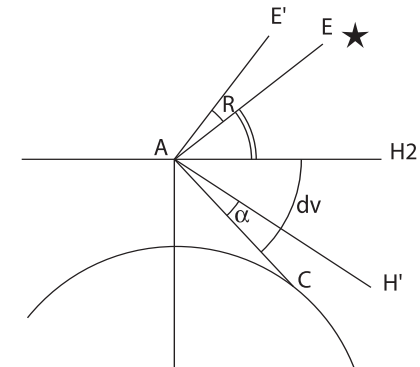


Figure 8

La correction des hauteurs ne s'arrête pas là, car comme on l'a vu figure 3, l'horizon vrai à considérer n'est pas AH_2 , mais celui qui passe par le centre de la Terre. Pour un astre très éloigné comme une étoile, les deux horizons peuvent être confondus sans problème ; mais lorsque l'on considère le Soleil, la Lune ou une planète d'où l'on peut voir le rayon terrestre sous un angle non-nul, il y a lieu de tenir compte de cette différence entre l'horizon apparent AH_2 et l'horizon vrai TH , c'est à dire qu'il faudra corriger ba pour avoir bv .

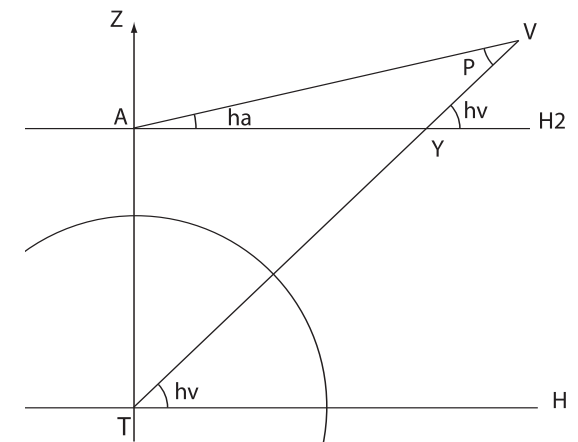


Figure 9

$\widehat{bv}$ = hauteur
vraie
 $\widehat{ba}$ = hauteur
apparente

$$\widehat{bv} = \widehat{ba} + \widehat{p} \text{ comme angle extérieur du triangle } AYW$$

La valeur dont il faudra corriger la hauteur apparente ba pour avoir la hauteur vraie bv sera l'angle p , angle sous lequel de l'astre V on verra la longueur AT (le rayon terrestre + l'élévation de l'œil = $R + e$), cet angle s'appelle la *parallaxe*. L'élévation e étant tellement petite par rapport au rayon terrestre R , que l'on fait $R + e = R$

Pour les astres qui présentent un diamètre apparent vus depuis la Terre, en fait le Soleil et la Lune, il faudra tenir compte du demi-diamètre d de chacun d'eux pour avoir la hauteur du centre de l'astre lorsque l'on mesurera la hauteur du bord supérieur ou du bord inférieur.

Pour la lune une correction supplémentaire intervient car elle est si proche de nous que nous devons tenir compte de la *parallaxe en hauteur* : selon la hauteur de la lune au-dessus de l'horizon le rayon terrestre aboutissant à l'observateur ne sera pas vu sous le même angle depuis la Lune.

Au total :

$$\text{Hauteur vraie} = \text{Hauteur observée} \pm \text{demi-diamètre} + \text{parallaxe} \\ - \text{réfraction astro} - \text{dépression apparente de l'horizon}$$

$$bv = bo \pm d + p - R - da$$

Réfraction astronomique et réfraction terrestre ont des valeurs difficiles à estimer avec précision à cause des incertitudes sur l'état de l'atmosphère au moment de l'observation : pression, température, humidité, inversion ou non des couches atmosphériques, etc. On adopte le plus souvent des valeurs moyennes tirées de l'expérience et de nombreuses observations.

À cause de cette incertitude, il est recommandé de ne pas utiliser des astres dont l'élévation est inférieure à 15° pour en tirer des résultats faisant appel à la hauteur.

On trouve dans les tables appropriées les valeurs de ces différentes corrections en fonction des paramètres évoqués plus haut.

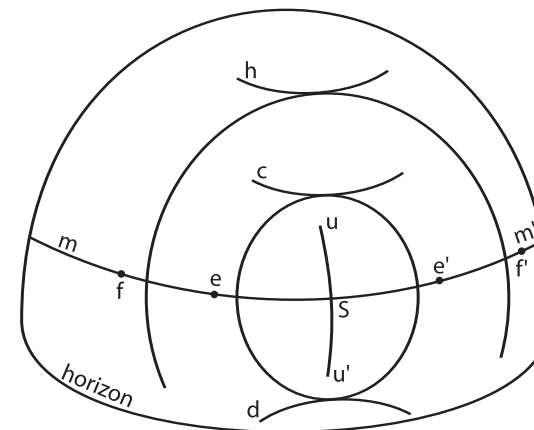


Figure 16



Halos

On appelle halos, des cercles lumineux qui, dans certaines conditions atmosphériques, entourent le Soleil ou la Lune. Ils sont dûs à la réfraction de la lumière solaire à travers les cristaux de glace agissant comme des prismes optiques, qui constituent les cirrus et les cirro-stratus (voile et bandes de nuages très élevés et de faible épaisseur).

Le plus commun est le halo de 22°, correspondant à des cristaux de glace dont les faces font entre elles des angles de 60°.

Ses couleurs sont celles de l'arc en ciel, mais disposées en sens inverse ; lorsqu'il est de faible intensité, sa coloration est blanche.

Un autre halo, de 46°, beaucoup plus rare, peut se produire quand les faces des cristaux de glace sont rectangulaires.

Il existe d'autres phénomènes, d'ailleurs fugaces et souvent incomplets, se rattachant aux halos; les principaux sont les suivants:

- les *arcs tançents* supérieurs et inférieurs au halo de 22° (*c & d*).
- les *parhélies* de 22° (*e & e'*) qui se présentent sous l'aspect de deux taches lumineuses arrondies de part et d'autre du Soleil, sur le halo de 22° ou un peu en dehors, et qui peuvent être prolongés vers le bas par des petits arcs obliques (arcs de LOWITZ).
- le *cercle parhélisque* (*m & m'*), cercle blanc horizontal passant par le Soleil, les parhélies de 46° (*f & f'*), l'anthélie à l'opposé de l'astre, etc.
- l'*arc circumzénithal* (*h*)
- les *colonnes lumineuses*, traînées verticales de lumière qui se montrent au-dessus, ou au-dessous, du Soleil et de la Lune (*u & u'*).

Autres phénomènes liés à la présence de l'atmosphère terrestre**La scintillation**

Les étoiles nous apparaissent sous l'aspect de points lumineux doués d'incessants et brusques changements d'éclat et de couleur, que l'on perçoit mieux avec des jumelles qu'à l'œil nu.

Ces variations, qui constituent le phénomène appelé *scintillation*, sont d'origine atmosphérique.

Elles proviennent de ce que les couches successives de l'atmosphère terrestre, différentes par leur température, leur densité, leur état hygrométrique n'ont pas les mêmes indices absolus de réfraction ; en outre, les couches basses sont continuellement en mouvement.

D'un instant à l'autre, le rayon lumineux issu d'une étoile est donc inégalement réfracté, il semble « danser », d'où l'apparence de la scintillation de l'étoile.

À de courts intervalles de temps, l'éclat de l'étoile passe d'une plus forte à une plus faible valeur, et ainsi de suite. Quant à la variation de la coloration de l'étoile, elle est due à l'inégale réfraction des rayons lumineux des diverses couleurs.

La scintillation, étant due à la réfraction atmosphérique, est d'autant plus sensible que l'atmosphère est plus trouble et que le chemin qu'elle offre au rayon lumineux est plus long.

C'est pourquoi :

- les étoiles scintillent plus les jours de grand vent ;
- plus on s'élève, plus la scintillation diminue ;
- plus une étoile est basse sur l'horizon, plus elle scintille.

Si la scintillation affecte les étoiles considérées comme de simples points lumineux, elle ne se produit pas dans le cas des planètes.

En effet, les planètes beaucoup plus proches de nous que les étoiles, ont des diamètres apparents sensibles, de sorte que l'on peut considérer leurs disques comme composés d'une infinité de points lumineux. Chacun de ces points scintille, mais il y

a compensation pour l'ensemble, et l'éclat et la couleur de la planète paraissent uniformes.

La variation de couleur d'une étoile telle que décrit plus haut s'appelle la *scintillation chromatique*.

Coucher et lever du Soleil

Comme nous l'avons vu (Fig. 5), la réfraction terrestre permet de voir un point situé au-delà de l'horizon théorique. C'est ce qui permet de voir le Soleil alors qu'il n'est pas encore vraiment levé ou lorsqu'il est déjà couché.

Au moment du lever ou du coucher vrai du centre du Soleil, la hauteur observée du bord inférieur est environ les deux tiers du diamètre vertical réfracté.

Au moment du lever ou du coucher apparents du bord supérieur du Soleil (où nous le voyons apparaître ou disparaître), la hauteur vraie du centre est négative et égale à 55'.

Il en découle que lors d'une pleine Lune où Soleil et Lune sont à 180° l'un de l'autre, on peut voir en même temps à l'horizon Est et à l'horizon Ouest la Lune et le Soleil.

Couleur du Soleil à ses lever et coucher

Lorsque le Soleil nous apparaît près de l'horizon, ses rayons traversent l'atmosphère tangentiellement et le trajet parcouru dans cette atmosphère est bien plus long que lorsqu'il est au-dessus de nos têtes, d'où une plus grande absorption des radiations lumineuses, seules les rouges restent visibles. L'astre nous semble rouge.

Forme du Soleil à ses lever et coucher

La réfraction étant d'autant plus forte que l'astre est bas sur l'horizon, le bord inférieur du Soleil est plus réfracté (donc plus relevé) que le bord supérieur. De ce fait il nous paraît aplati (diamètre horizontal = 32', inchangé, diamètre vertical = 28').

Éclipses de Lune

C'est à cause de l'atmosphère terrestre que la Lune même dans l'ombre de la Terre lors d'une éclipse totale ne disparaît pas

Le centre C de l'arc en ciel se trouve sur la ligne SO qui joint le Soleil à l'observateur (celui-ci ne peut donc le voir que dans la partie du ciel opposée à l'astre). Son ouverture, (angle AOC) est uniformément de 42° ; on ne peut donc l'observer que si la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon n'est pas trop grande (surtout matin et soir).

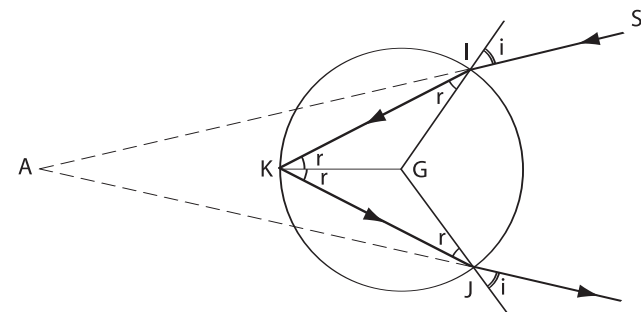


Figure 14

Le trajet d'un rayon lumineux incident SIA à l'intérieur d'une goutte d'eau de centre G est indiqué par la figure 14 (réfraction suivant IK , réflexion totale en K suivant KJ , deuxième réfraction en J suivant JB). Un deuxième arc en ciel peut être produit par les rayons qui sortent de la goutte après avoir subi une double réflexion intérieure (figure 15). Cet arc en ciel *secondaire*, de même centre que le premier, mais beaucoup moins lumineux, a une ouverture de 51° environ ; ses couleurs sont disposées en sens inverse (violet à l'extérieur).

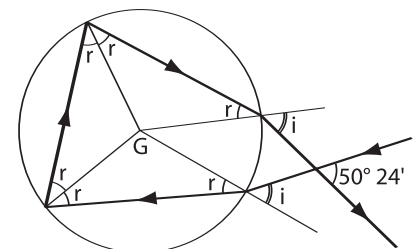


Figure 15

Latitude	39° 00' Nord
Longitude	33°30' Ouest
Pression atmosphérique	776,5 mm Hg / 1035,5 mb
Température	22° 5 C
Vent	ESE
Force	1
Mer	Belle
Ciel	Peu nuageux à nuageux
Nuages	Cumulus congestus & Cumulus humilis vesperalis.

Avec bientôt trente ans de recul, je peux assurer qu'il s'agissait du soir d'une belle journée d'été vécue dans l'Atlantique Nord à l'Ouest des Açores.

L'arc en ciel

L'arc en ciel, qui apparaît sur un « rideau » pluvieux éclairé par le soleil (figure 13), est dû aux réfractions et réflexions des rayons solaires dans les gouttes de pluie ; ces réfractions et réflexions sont en outre accompagnées de dispersion, c'est à dire que la lumière reçue par l'observateur est décomposée selon les couleurs du spectre (le rouge à l'extérieur de l'arc, le violet à l'intérieur).

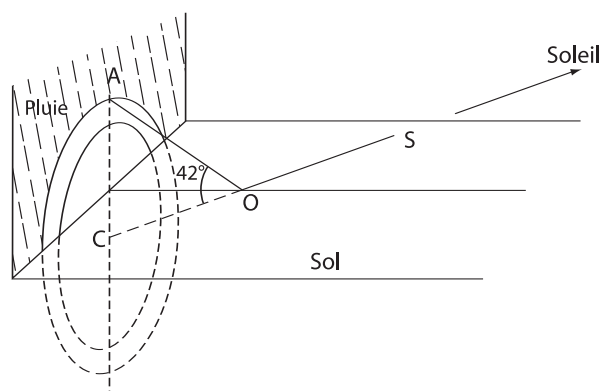


Figure 13

complètement à nos regards. Les rayons du Soleil, réfractés par l'atmosphère terrestre réussissent à atteindre la lune, et comme lors du coucher ou du lever du soleil, vu la longueur du trajet dans l'atmosphère, seuls les rayons rouges ne sont pas absorbés, ils sont les seuls à atteindre la Lune ce qui donne cette coloration sanguine à notre satellite éclipsé. Il y a lieu de noter que cette coloration rouge n'est pas toujours la même car elle dépend de l'état de l'atmosphère terrestre traversée.

Taille de la Terre vue de l'espace

Du fait que tout rayon lumineux atteignant, (ou quittant) la Terre est courbe et que sa concavité est tournée vers le bas, vu de l'espace, un point du bord visible de la Terre paraîtra se trouver plus « écarté » du sol terrestre qu'il ne l'est dans la réalité. La Terre présentera vue du ciel un disque élargi.

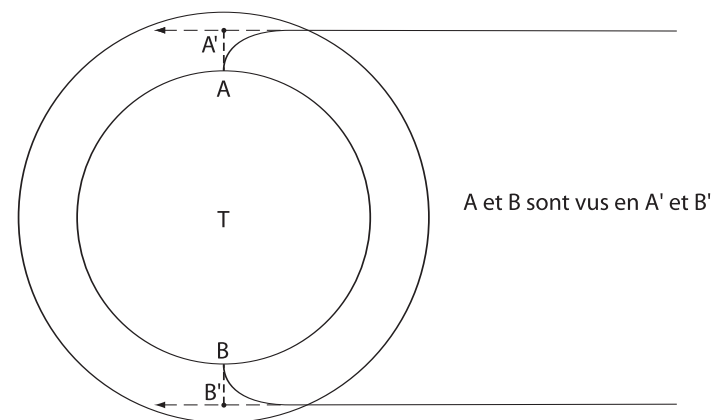


Figure 10

Mirages

Les mirages sont bien connus, mais la raison en est toujours un peu mystérieuse.

Nous avons vu que la réfraction a pour effet en temps normal de dévier un rayon lumineux et de lui faire tourner sa

concavité vers le bas. Nous vivons « normalement » dans ce genre d'environnement, où les couches basses de l'atmosphère sont plus denses (donc plus réfringentes) que les couches hautes. Mais il peut arriver qu'au contact d'un sol surchauffé ou de la surface de la mer, les basses couches soient moins denses que les couches immédiatement supérieures, il y a une inversion thermique, phénomène très localisé et instable. Dans ce contexte, la réfraction aura pour effet de provoquer une courbure du rayon lumineux telle que sa concavité soit tournée vers le haut.

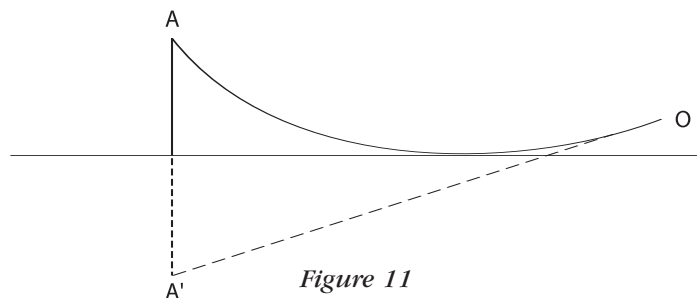


Figure 11

Pour l'observateur O , le point A , sommet d'un arbre ou ciel bleu, lui semblera se trouver en A' .

Souvent en mer, lorsque la température de l'eau est un peu plus élevée que celle de l'air on a le même genre d'inversion des couches d'air. Mais le phénomène est limité aux couches très basses, près de la surface de la mer. Les couches intermédiaires conservent l'équilibre normal. On a un trajet des rayons lumineux tel que sur la figure 12, le même point apparaît deux fois, les objets ont des formes fantastiques, on voit des navires superposés, des édifices cotiers irréels, etc. Ce phénomène s'appelle la *Fata Morgana* (la Fée Morgane).

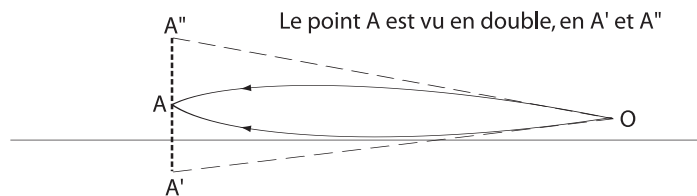


Figure 12

Aurores polaires

Aurores boréales, aurores australes, elles sont la forme visible de l'ionisation des hautes couches de l'atmosphère le long des lignes de force du champ magnétique terrestre sous l'action des vents solaires. Elles sont très gênantes pour l'observation des astres. Le ciel est laiteux ou coloré, les lueurs ondulent, augmentent en intensité, diminuent, s'estompent, réapparaissent pour disparaître, c'est un ballet continu, comme si une danseuse faisait passer et repasser son voile dans le ciel. Elles ne sont visibles généralement qu'aux hautes latitudes, près des pôles.

Étoiles filantes

C'est l'embrasement des météorites qui pénètrent dans l'atmosphère.

Rayon vert

Par temps clair, il arrive qu'au moment du coucher du Soleil, et aussitôt après la disparition de l'astre, un mince segment de coloration verte, quelquefois intense, persiste pendant 1 ou 2 secondes sur l'horizon.

L'explication de ce phénomène est la suivante :

On sait que les radiations solaires sont diversement divisées en traversant l'atmosphère, les rayons violets subissant la déviation maximale. Lorsque le soleil s'est abaissé au point qu'aucun rayon rouge ne parvient plus à l'observateur, les rayons verts peuvent encore atteindre celui-ci, les bleus et les violets étant d'autre part entièrement diffusés.

J'ai personnellement souvent admiré ce phénomène, qui n'est pas dû, comme le pensent certains, à une illusion d'optique causée par la saturation de la rétine par le rouge du soleil et qui fait voir le dernier rayon de la couleur complémentaire du rouge, c'est à dire le vert. Non, le rayon vert n'est pas visible à chaque coucher de soleil. J'ai sous les yeux une note que j'ai prise un soir où j'avais aperçu le rayon vert, je vous la livre :

Date	18 juin 1961
Heure locale	20 h 15
Déclinaison soleil	23° 25' Nord