

Réfraction atmosphérique

Atmospheric refraction

Gérard Baillet

Société Astronomique de France - Commission des Cadrons Solaires

Abstract : The purpose of the document is to show how to calculate the atmospheric refraction only from the knowledge of the temperature and pressure between 0km and 100 km altitude, the refractive index of air versus the wavelength, and the change in this index depending on the pressure and temperature. Graphs show the effect of variations in temperature, pressure, wavelength, altitude of the place and the radius of the earth. The results are compared with those published by the "Bureau des Longitudes, France."

The gap for a zenith distance of:

0 ° to 83 ° there is a gap less than 0.1 arcsec.

0 ° to 67 ° there is a gap less than 0.01 arcsec

83 ° to 90 ° the gap remains less than 0.976 arcsec.

Key-Words : Atmospheric effects: refraction. Astrometry.

1 Généralités

Il existe, pour les amateurs, plusieurs méthodes pour déterminer la réfraction atmosphérique.

-Les tables : comme dans Guide de données astronomiques (IMCCE).

-Les équations approchant la réfraction (voir introduction aux éphémérides astronomiques (Bureau des Longitudes) ou le Danjon.

Dans les deux cas il faut appliquer des corrections pour tenir compte de la distance zénithale, de la pression atmosphérique, de la température, de l'altitude du lieu et dans une moindre mesure la longueur d'onde et l'humidité de l'air. Ces corrections nécessitent aussi l'usage de tables.

Une méthode de calcul direct de la réfraction astronomique à partir de l'atmosphère standard est cependant possible, les corrections faisant directement partie du calcul.

2 Atmosphère standard

On peut retrouver la définition de l'atmosphère standard dans l'article de Wikipédia : « atmosphère normalisée »:

http://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosphère_normalisée

dont les caractéristiques sont les suivantes :

TROPOSPHÈRE		
altitude (m)	pression (hPa)	température (°C)
10000	265	-50,0
9000	307	-43,5
8000	357	-37,0
7000	411	-30,5
6000	471	-24,0
5000	541	-17,5
4000	617	-11,0
3500	658	-7,5
3000	700	-4,5
2500	746	-1,0
2000	794	2,0
1500	845	5,5
1000	900	8,5
500	955	12,0
0	1 013	15,0

TROPOPAUSE / STRATOSPHERE / STRATOPAUSE

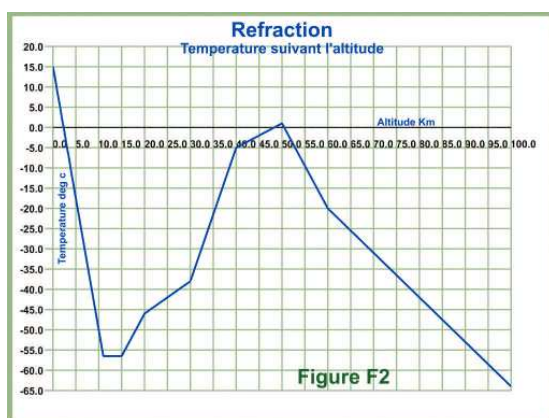
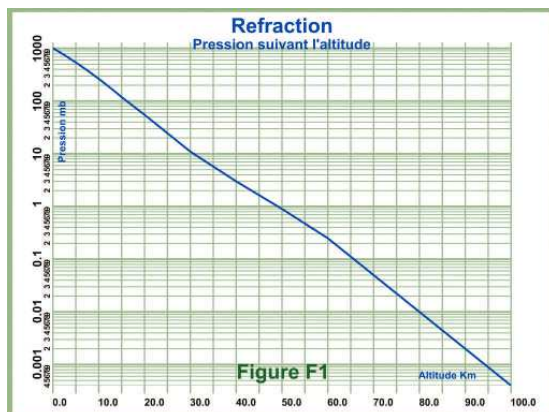
altitude (km)	pression (hPa)	température (°C)
50	0,9	+1
40	3	-5
30	11	-38
20	55	-46
15	119	-56,5
14	141	-56,5
13	165	-56,5
12	194	-56,5
11	227	-56,5

MÉSOsphère ET AU-DELÀ

altitude (km)	pression (hPa)	température (°C)
500	$1,1 \cdot 10^{-8}$	-97,7
400	$4,4 \cdot 10^{-8}$	-97,3
300	$2,0 \cdot 10^{-7}$	-95,3
200	$1,3 \cdot 10^{-6}$	-82,2
100	$4,0 \cdot 10^{-4}$	-64
60	$2,5 \cdot 10^{-1}$	-20

Pour la pression atmosphérique, on effectue une interpolation logarithmique (sur la pression) entre les altitudes données tandis que pour la température on effectue une interpolation linéaire entre les altitudes définies.

Nous utiliserons les valeurs jusqu'à 100 Km d'altitude.



3 Indice de réfraction de l'air

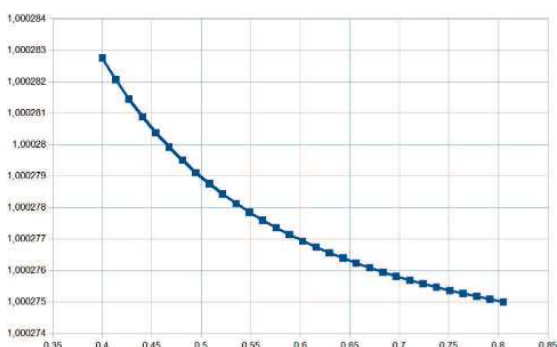
3.1 Indice en condition standard

Les conditions standard sont une pression de 1013,25 mbar et une température de 15°C. La formule donne l'indice selon la longueur d'onde avec :

$$\rho = 1000 / \text{longueur d'onde (longueur d'onde en nanomètres)}$$

$$n_s = 1 + 6,4328 \cdot 10^{-5} + (2,94981 \cdot 10^{-2} / (146 - \rho^2)) + (2,554 \cdot 10^{-4} / (41 - \rho^2))$$

Voir ci-dessous la représentation graphique de l'indice de réfraction de l'air suivant la longueur d'onde en micron, dans la zone visible.



3.2 Variation de l'indice avec la température et la pression

$$n = 1 + (n_s - 1) \times (p / p_s) \times (t_s / t)$$

n : indice de réfraction de l'air pour une pression et une température données

t : température en °kelvins

t_s : 288,15 °kelvins

p : pression en mbar

p_s : 1013,25 mbar

n_s : indice de réfraction calculé en 3.1. Indice en condition standard.

4 Principe du calcul de la réfraction atmosphérique

4.1 Éléments de départ

Afin de calculer la réfraction de l'atmosphère on prend l'atmosphère standard défini. au paragraphe 2. Atmosphère standard en se limitant à l'altitude de 100km.

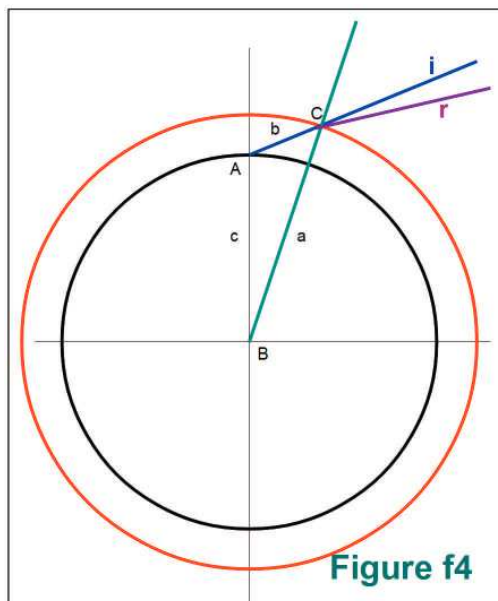
On suppose la terre sphérique de rayon 6370km.

On choisit la longueur d'onde de 0,59 micron soit la couleur jaune.

4.2 Principe de calcul

On divise l'atmosphère en couches concentriques d'épaisseur variable, afin de tenir compte de la variation de l'indice de réfraction avec la pression. La loi choisie est telle que l'épaisseur de la couche $n+1 = (\text{épaisseur de la couche } n) \times k$ avec k constant.

La couche est limitée par les deux cercles rouge et noir. On



suppose que l'indice de réfraction de chaque couche est constant et égal à sa valeur au milieu de la couche.

Le rayon incident i est marqué en bleu. Le rayon réfracté r à la sortie de la couche est marqué en magenta. Il est dans la couche suivante.

B est le centre de la terre. Dans le triangle ABC :

On connaît BA = c et BC = a.

On connaît l'angle $\hat{A}$.

Il faut déterminer les angles : $\hat{C}$ & $\hat{B}$,

soit :

$$\hat{C} = \arcsin(c \times \sin(\hat{A}) / a)$$

$$\hat{B} = 180 - \hat{A} - \hat{C}$$

En considérant C comme l'angle incident, on calcule l'angle réfracté (entre la normale BC et le rayon r).

Soit **indice1** l'indice de réfraction en tenant compte de la température, de la pression, de la longueur d'onde du milieu de la couche. Idem pour **indice2** de la couche suivante. (Voir les parties 2 "Atmosphère standard" et 3 "Indice de réfraction de l'air").

$$\text{ang}_{\text{refr}} = \arcsin((\text{indice1}/\text{indice2}) \times \sin(\hat{C}))$$

Pour passer à la couche suivante, on doit :

-calculer la nouvelle valeur de $\hat{A}$;

$$\hat{A} = 180 - \text{ang}_{\text{refr}}$$

-effectuer la somme des angles $\hat{B}$

$$\text{somm}_B = \text{somm}_B + \hat{B}$$

-calculer la nouvelle épaisseur de couche ;

$$\text{ep}_{\text{couche}} = \text{ep}_{\text{couche}} \times \text{coef}$$

-affecter la nouvelle valeur à c

$$c = a$$

-affecter la nouvelle valeur à a.

$$a = c + \text{ep}_{\text{couche}}$$

4.2.1 Valeur pour la première couche

Valeurs initiales des paramètres :

-avec $\text{ang}_{\text{horiz}}$ l'angle de l'astre vu au-dessus de l'horizon ;

$$\hat{A} = 90 + \text{ang}_{\text{horiz}}$$

$$\text{somm}_B = 0$$

-nombre de couches : 1000 par exemple

$$\text{nb}_{\text{couche}} = 1000$$

-le coefficient multiplicateur pour passer à l'épaisseur de la couche n+1 ;

$$\text{coef} = \exp(\ln(100)/\text{nb}_{\text{couche}})$$

-l'épaisseur de la couche de départ en km

$$\text{ep}_{\text{couche}} = \text{coef} - 1$$

-rayon de la Terre en km :

$$\text{rayon}_{\text{terre}} = 6370$$

-altitude du lieu en km : 0 par exemple

$$\text{alt}_{\text{Lieu}} = 0$$

-valeurs de a et c :

$$c = \text{rayon}_{\text{terre}} + \text{alt}_{\text{Lieu}}$$

$$a = c + \text{ep}_{\text{couche}}$$

4.2.2 Calcul de l'angle de réfraction

Lorsque l'on atteint l'altitude maximum (100km), on calcule l'angle de réfraction en minutes :

$$\text{Refract} = [\text{ang}_{\text{horiz}} - (90 - (\text{somm}_B + \text{ang}_{\text{ref}}))] \times 60$$

5 Validation du calcul

La meilleure théorie à ma disposition est dans le livre :

« INTRODUCTION AUX ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES » par le BUREAU DES LONGITUDES ISBN : 2-86883-298-9

La théorie utilise 9 tableaux pour corriger la réfraction suivant divers paramètres.

Pour les distances zénithales > 70° j'utilise un tableau de valeurs et pour les distances zénithales < 70° j'utilise une formule.

La formule et le tableau entrés dans le logiciel donnent le résultat suivant :

$$\text{alt} = 0.000 \text{ temp} = 15.000 \text{ deg } C \text{ press atmosph} = 1013.00 \text{ mb} \\ \text{long onde} = 0.590 \text{ micron}$$

Colonne c1: hauteur vue au-dessus de l'horizon en degrés

Colonne c2: réfraction calculée par Gbt minutes et secondes

Colonne c3: distance zénithale en degrés

colonne c4: réfraction minutes et secondes à partir du livre du BDL « introduction aux éphémérides astronomiques » ISBN 2-86883-298-9

colonne c5:

tabl : valeur de la table 7.3.3 page 198

calc calculé à partir de la formule 7.3.7 page 193 soit:

$$57'', 085 \tan z_0 - 0'', 0666 \tan^3 z_0$$

Colonne c6: écart en seconde entre les deux valeurs

Colonne c7: écart exprimé en 1/1000 de la valeur

c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7
0.0	32'58.9"	90.0	32'58.0"	tabl	0.976"	0.494
1.0	23'30.2"	89.0	23'29.4"	tabl	0.768"	0.545
2.0	17'45.2"	88.0	17'44.4"	tabl	0.823"	0.774
3.0	14' 1.4"	87.0	14' 1.0"	tabl	0.453"	0.538
4.0	11'28.3"	86.0	11'27.9"	tabl	0.334"	0.485
5.0	9'38.6"	85.0	9'38.4"	tabl	0.243"	0.419
6.0	8'17.1"	84.0	8'16.9"	tabl	0.176"	0.354
7.0	7'14.5"	83.0	7'14.4"	tabl	0.125"	0.288
8.0	6'25.1"	82.0	6'25.1"	tabl	0.091"	0.236
9.0	5'45.3"	81.0	5'45.3"	tabl	0.072"	0.209
10.0	5'12.6"	80.0	5'12.5"	tabl	0.058"	0.187
11.0	4'45.2"	79.0	4'45.2"	tabl	0.047"	0.164
12.0	4'22.0"	78.0	4'22.0"	tabl	0.033"	0.125
13.0	4' 2.1"	77.0	4' 2.1"	tabl	0.026"	0.106
14.0	3'44.8"	76.0	3'44.8"	tabl	0.024"	0.106
15.0	3'29.7"	75.0	3'29.7"	tabl	0.019"	0.091
16.0	3'16.3"	74.0	3'16.3"	tabl	0.014"	0.072
17.0	3' 4.4"	73.0	3' 4.4"	tabl	0.010"	0.053
18.0	2'53.8"	72.0	2'53.8"	tabl	0.009"	0.051
19.0	2'44.2"	71.0	2'44.2"	tabl	0.009"	0.053
20.0	2'35.5"	70.0	2'35.5"	calc	0.021"	0.134
21.0	2'27.5"	69.0	2'27.5"	calc	0.015"	0.101
22.0	2'20.3"	68.0	2'20.3"	calc	0.011"	0.076
23.0	2'13.6"	67.0	2'13.6"	calc	0.007"	0.056
24.0	2' 7.5"	66.0	2' 7.5"	calc	0.005"	0.040
25.0	2' 1.8"	65.0	2' 1.8"	calc	0.003"	0.027
26.0	1'56.5"	64.0	1'56.5"	calc	0.002"	0.017
27.0	1'51.5"	63.0	1'51.5"	calc	0.001"	0.009
28.0	1'46.9"	62.0	1'46.9"	calc	0.000"	0.003
29.0	1'42.6"	61.0	1'42.6"	calc	0.000"	-0.002
30.0	1'38.5"	60.0	1'38.5"	calc	0.001"	-0.007
31.0	1'34.7"	59.0	1'34.7"	calc	0.001"	-0.010
32.0	1'31.1"	58.0	1'31.1"	calc	0.001"	-0.013
33.0	1'27.7"	57.0	1'27.7"	calc	0.001"	-0.016
34.0	1'24.4"	56.0	1'24.4"	calc	0.002"	-0.018
35.0	1'21.3"	55.0	1'21.3"	calc	0.002"	-0.020
36.0	1'18.4"	54.0	1'18.4"	calc	0.002"	-0.021
37.0	1'15.6"	53.0	1'15.6"	calc	0.002"	-0.023
38.0	1'12.9"	52.0	1'12.9"	calc	0.002"	-0.024
39.0	1'10.4"	51.0	1'10.4"	calc	0.002"	-0.025
40.0	1' 7.9"	50.0	1' 7.9"	calc	0.002"	-0.026
41.0	1' 5.6"	49.0	1' 5.6"	calc	0.002"	-0.026
42.0	1' 3.3"	48.0	1' 3.3"	calc	0.002"	-0.027
43.0	1' 1.1"	47.0	1' 1.1"	calc	0.002"	-0.028

44.0	0'59.0"	46.0	0'59.0"	calc	0.002"	-0.028
45.0	0'57.0"	45.0	0'57.0"	calc	0.002"	-0.029
46.0	0'55.1"	44.0	0'55.1"	calc	0.002"	-0.029
47.0	0'53.2"	43.0	0'53.2"	calc	0.002"	-0.030
48.0	0'51.3"	42.0	0'51.4"	calc	0.002"	-0.030
49.0	0'49.6"	41.0	0'49.6"	calc	0.002"	-0.031
50.0	0'47.9"	40.0	0'47.9"	calc	0.001"	-0.031
51.0	0'46.2"	39.0	0'46.2"	calc	0.001"	-0.032
52.0	0'44.6"	38.0	0'44.6"	calc	0.001"	-0.032
53.0	0'43.0"	37.0	0'43.0"	calc	0.001"	-0.032
54.0	0'41.4"	36.0	0'41.4"	calc	0.001"	-0.033
55.0	0'39.9"	35.0	0'39.9"	calc	0.001"	-0.033
56.0	0'38.5"	34.0	0'38.5"	calc	0.001"	-0.033
57.0	0'37.1"	33.0	0'37.1"	calc	0.001"	-0.033
58.0	0'35.7"	32.0	0'35.7"	calc	0.001"	-0.034
59.0	0'34.3"	31.0	0'34.3"	calc	0.001"	-0.034
60.0	0'32.9"	30.0	0'32.9"	calc	0.001"	-0.034
61.0	0'31.6"	29.0	0'31.6"	calc	0.001"	-0.035
62.0	0'30.3"	28.0	0'30.3"	calc	0.001"	-0.035
63.0	0'29.1"	27.0	0'29.1"	calc	0.001"	-0.035
64.0	0'27.8"	26.0	0'27.8"	calc	0.001"	-0.035
65.0	0'26.6"	25.0	0'26.6"	calc	0.001"	-0.035
66.0	0'25.4"	24.0	0'25.4"	calc	0.001"	-0.036
67.0	0'24.2"	23.0	0'24.2"	calc	0.001"	-0.036
68.0	0'23.1"	22.0	0'23.1"	calc	0.001"	-0.036
69.0	0'21.9"	21.0	0'21.9"	calc	0.001"	-0.036
70.0	0'20.8"	20.0	0'20.8"	calc	0.001"	-0.036
71.0	0'19.7"	19.0	0'19.7"	calc	0.001"	-0.037
72.0	0'18.5"	18.0	0'18.5"	calc	0.001"	-0.037
73.0	0'17.5"	17.0	0'17.5"	calc	0.001"	-0.037
74.0	0'16.4"	16.0	0'16.4"	calc	0.001"	-0.037
75.0	0'15.3"	15.0	0'15.3"	calc	0.001"	-0.037
76.0	0'14.2"	14.0	0'14.2"	calc	0.001"	-0.037
77.0	0'13.2"	13.0	0'13.2"	calc	0.000"	-0.038
78.0	0'12.1"	12.0	0'12.1"	calc	0.000"	-0.038
79.0	0'11.1"	11.0	0'11.1"	calc	0.000"	-0.038
80.0	0'10.1"	10.0	0'10.1"	calc	0.000"	-0.038
81.0	0' 9.0"	9.0	0' 9.0"	calc	0.000"	-0.038
82.0	0' 8.0"	8.0	0' 8.0"	calc	0.000"	-0.038
83.0	0' 7.0"	7.0	0' 7.0"	calc	0.000"	-0.038
84.0	0' 6.0"	6.0	0' 6.0"	calc	0.000"	-0.038
85.0	0' 5.0"	5.0	0' 5.0"	calc	0.000"	-0.038
86.0	0' 4.0"	4.0	0' 4.0"	calc	0.000"	-0.038
87.0	0' 3.0"	3.0	0' 3.0"	calc	0.000"	-0.038
88.0	0' 2.0"	2.0	0' 2.0"	calc	0.000"	-0.038
89.0	0' 1.0"	1.0	0' 1.0"	calc	0.000"	-0.038

Représentation graphique de la réfraction



5.1 Analyse des résultats

D'une distance zénithale de :

0° à 83° : il y a un écart < 0,1 seconde d'arc.

0° à 67° : il y a un écart < 0,01 seconde d'arc

83° à 90° : l'écart reste inférieur à 0,976 seconde d'arc.

Pour donner une importance de l'écart entre les méthodes on peut indiquer la variation de température qui produit le même écart entre les deux valeurs :

-à l'horizon l'écart est équivalent à 0,14°C

-à 45° de l'horizon l'écart est équivalent à 0,0080°C

Sachant qu'un thermomètre ne mesure que sa propre température, que la température de l'air peut varier de plusieurs degrés par heure, ces écarts ne sont pas significatifs.

La méthode développée est donc très approchante de la théorie indiquée dans l'ouvrage du Bureau des Longitudes.

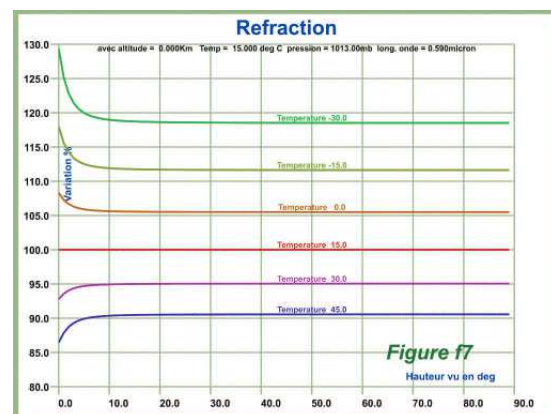
6 Effet des paramètres

Dans les chapitres suivants on présente le rapport entre la réfraction calculée avec la modification du paramètre et la réfraction en standard (indiquée en haut des graphiques), ce rapport est multiplié par 100 pour chaque distance zénithale. Pour les variations, de pression ou de température à l'altitude 0 Km, on fait décroître celle-ci progressivement jusqu'à zéro à 10 km d'altitude.

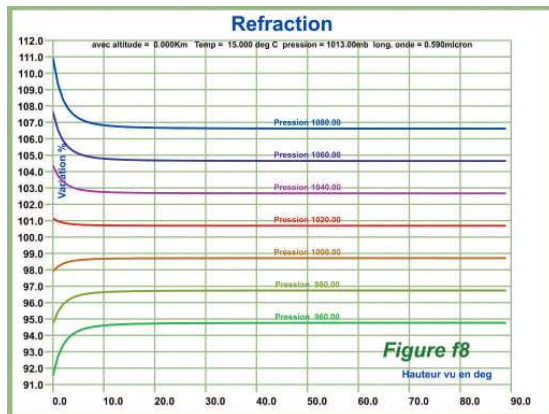
6.1 Effet de la longueur d'onde



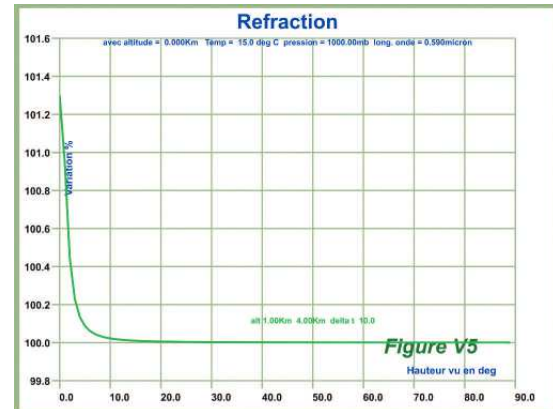
6.2 Effet de la température à l'altitude 0



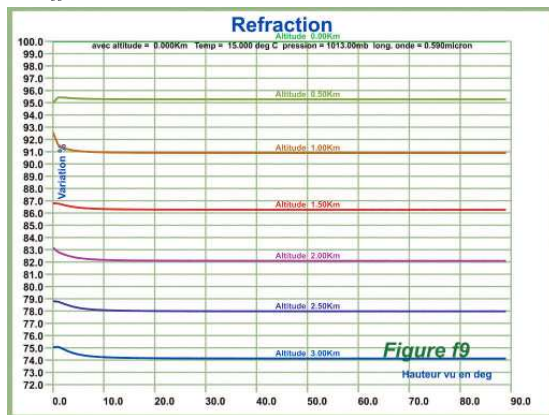
6.3 Effet de la pression atmosphérique à l'altitude 0



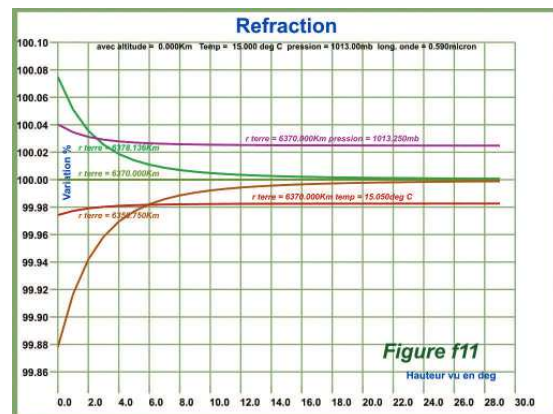
on trouve l'effet suivant:



6.4 Effet de l'altitude

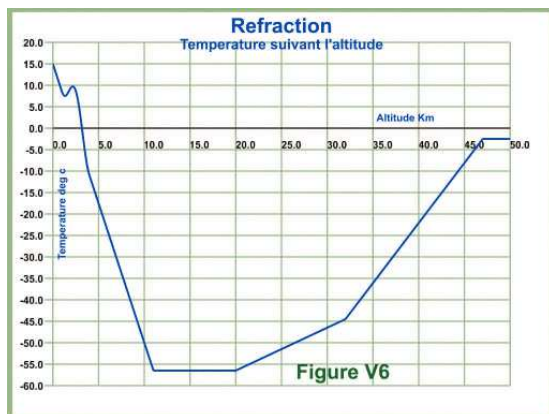


6.6 Effet du rayon de la terre



6.5 Effet d'une anomalie de température

Avec une variation de température comme indiquée sur la figure ci-dessous (+5°C entre 1 et 4Km),



On a porté sur le graphique le résultat pour le rayon équatorial (6378,136Km), le rayon moyen (6370 Km) et le rayon au pôle (6356,750 Km).

Afin de mettre en évidence l'importance de l'effet du rayon de la terre, j'ai montré la variation due à une élévation de température de 5/100 °C (15,050°C) ainsi qu'une variation de 0,25 mb de la pression atmosphérique (1013,25mb).

A partir de 6° au-dessus de l'horizon les effets du rayon de la terre deviennent négligeables devant une variation de 5/100°C ou de 0,25mb.

6.7 Remarque sur les effets

Entre 30 et 90° au-dessus de l'horizon les effets (en relatif) des paramètres sont peu sensibles à la distance zénithale, mais en dessous on remarque des variations importantes certainement difficiles à modéliser.

7 Précision et utilisation pour l'astrométrie

7.1 Principaux éléments influant sur la précision

Les Émagrammes (relevé de température sèche et humide, pression, avec ballon sonde) montrent de fortes disparités par rapport à l'atmosphère standard, variable suivant les jours.

Il est donc difficile, par exemple, de retrouver la température,

la pression convenable au niveau de la mer et d'établir alors la bonne correction de la table de réfraction atmosphérique.

7.2 Élément de chiffrage de la précision

Prenons l'exemple de la réfraction à 45° au-dessus de l'horizon.

Dans les conditions standard on trouve : 57,0 seconde d'angle.

Nota : À partir de la table (entre 40° et 50°) on trouve une variation relative de la réfraction de : 1,0355 par degré d'angle au-dessus de l'horizon.

Si l'on se limite à l'effet de la température, on trouve autour de la valeur standard une variation relative de la réfraction de 1,05 pour 15°C soit une variation de : 1,003258 pour 1°C. Si l'on applique cette variation à la réfraction, on trouve pour 45° au-dessus de l'horizon : 57,185706 secondes d'angle au lieu de 57,0 secondes d'angle.

Si on souhaite une précision de 0,1 seconde d'angle il faut alors une erreur sur la température inférieure à 0,54°C ramenée au niveau de la mer, très difficile à atteindre, à mon avis.

Pour obtenir une précision comparable aux valeurs obtenues par le satellite Hipparcos soit 1 milliseconde d'angle, la précision sur la température est hors d'atteinte (0,0054 °C).

7.3 Astrométrie différentielle

7.3.1 Principe

On suppose que pour des hauteurs supérieures à 30° au-dessus de l'horizon les variations relatives de la réfraction sont constantes, que cette variation soit causée par un élément ou deux (température, pression atmosphérique). L'altitude et la longueur d'onde ne sont pas considérées comme variables.

7.3.2 Méthode

Supposons deux astres mesurés simultanément. L'un connu [A1] (une étoile) dans le catalogue de grande précision par exemple celui d'Hipparcos. L'autre un astre [A2] dont on cherche les coordonnées, (par exemple un astéroïde).

Pour A1 :

Soient H1 sa hauteur mesurée et C1 la hauteur calculée à partir du catalogue en appliquant toutes les corrections : aberration, nutation, mouvement propre etc (sans la réfraction) et R1 la réfraction corrigée des éléments connus : température, pression, altitude etc.

Pour A2

Soient H2 la hauteur mesurée et R2 la réfraction corrigée des éléments connus température, pression, altitude etc, identiques à ceux pour A1.

On calcule le coefficient de correction de la réfraction :

$$k1 = (H1 - C1) / R1$$

On calcule la réfraction à appliquer à A2 :

$$Rm2 = R2 \times K1$$

La hauteur sans atmosphère de A2 est alors :

$$C2 = H2 - Rm2$$

On peut alors calculer sa position en effectuant toutes les corrections pour obtenir les coordonnées avec les mêmes éléments de référence que pour le catalogue de l'astre A1.

7.3.3 Précision

Les éléments déterminant la précision du résultat sont :

Les précisions :

1. Des mesures H1 et H2.
2. La précision du calcul et/ou le poids de la décimale la plus faible de la table de réfraction (en supposant la théorie parfaite) pour obtenir R1 et R2.
3. L'invariabilité du coefficient k1 pour la plage de variation de hauteur de H1 à H2 (la différence entre H1 et H2 pouvant être faible (<1°).
4. Le catalogue définissant les coordonnées de A1 étant supposé avoir une précision suffisamment petite pour ne pas intervenir.

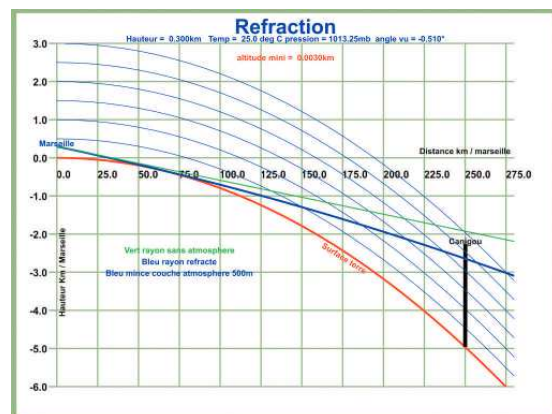
Une méthode pour vérifier l'amélioration de précision apportée par ce procédé consiste à utiliser pour A2 une étoile du même catalogue que A1.

La validation par des mesures est hors de ma portée, hélas !

8 Autre exemple d'utilisation

On prendra comme exemple la visibilité du mont Canigou depuis les hauteurs de Marseille (300m). Sans atmosphère, le sommet du mont n'est pas visible ; avec la réfraction, on peut le voir certains jours, se découper devant le soleil couchant.

Voici un graphique qui montre les trajets des rayons, le mont Canigou est représenté sous la forme d'une barre noire verticale à 250Km de Marseille..



9 Conclusion

La méthode de calcul développée semble valable pour les amateurs. Pour obtenir une valeur de la réfraction plus précise il faudrait connaître en fonction de l'altitude : la température , la pression, l'humidité... , ce qui est rarement accessible ; il faut alors se limiter à 4 paramètres accessibles au sol :

- l'altitude du lieu,
- la pression ramenée au niveau de la mer,
- la température ramenée au niveau de la mer,
- la longueur d'onde,

et éviter les mesures au-delà d'une distance zénithale de 80° ce qui est toujours le cas, sauf pour des observations sur l'horizon telles que le rayon vert ou la déformation du Soleil.



SUR VOS AGENDAS : REUNIONS DE COMMISSIONS, COURS ET CONFÉRENCES

Samedi 16 mars à 15h, (au siège)
Commission de Planétologie.

Samedi 23 mars à 15 h, (au siège)
Commission de Cosmologie.

Samedi 23 et dimanche 24 mars à Beauvais et Amiens
Commission Histoire de l'Astronomie

Samedi 30 mars à 9h30 (au siège)
Commission Météorites-Impactisme.

Samedi 6 avril à 9 h 30 (au siège),
Commission des Etoiles doubles (journée).

Mercredis 10, 17 et 24 avril à 18h30 (au siège)
Cours de Cosmologie

Samedi 13 avril à 15h (au siège)
Cours de Planétologie.

Samedi 27 avril à 9h30 (au siège),
Commission du Soleil.

Samedi 4 et dimanche 5 mai à Genève,
Commission des Cadrans solaires.

Cours d'initiation à l'Astronomie par Danielle Briot au siège (suite) :

Jeudi 28 février 2013 à 19h : Les planètes extrasolaires (transits)

Jeudi 21 mars à 19h : Les planètes extrasolaires (systèmes multiples)

Jeudi 4 avril à 19h : Les planètes extrasolaires (planètes habitables)

Conférences à la F.I.A.P. :

Mercredi 13 mars 2013 à 20h30 : "Astéroïdes : Terre en danger" par J.P. Luminet (LUTH)

Mercredi 10 avril à 20h30 : "Simuler tout l'univers observable pour comprendre le mystère de l'énergie noire" par J.M. Alimi (LUTH)

Mercredi 15 mai à 20h30 : "Météorites : terres de vie, terres de mort" par M. Gounel (Lab. Minéralogie et Cosmochimie du MNHN).

Assemblée générale et Réunion des Commissions à l'Observatoire de Meudon : Samedi 25 mai 2013 à 9h.

Festivités Flammarion : Samedi 1er et Dimanche 2 juin 2013 à Juvisy.