

RECOMMANDATION UIT-R P.835-3

ATMOSPHÈRE DE RÉFÉRENCE POUR L'AFFAIBLISSEMENT DÛ AUX GAZ

(Question UIT-R 201/3)

(1992-1994-1997-1999)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

a) qu'il est nécessaire de disposer d'une atmosphère de référence pour calculer l'affaiblissement dû aux gaz sur un trajet Terre-espace,

recommande

1 que l'on utilise les atmosphères de référence définies dans l'Annexe 1 pour déterminer la température, la pression et la pression partielle de vapeur d'eau en fonction de l'altitude, dans le calcul de l'affaiblissement dû aux gaz, quand des données locales plus fiables ne sont pas disponibles,

2 que l'on utilise les données expérimentales fournies dans l'Annexe 2 pour les points considérés quand on a besoin de connaître les variations saisonnières ou mensuelles.

ANNEXE 1

1 Atmosphère de référence moyenne annuelle pour le monde entier

L'atmosphère de référence définie ci-après correspond aux profils moyens annuels, la moyenne étant faite sur tout le globe.

1.1 Température et pression

La définition de l'atmosphère de référence est fondée sur le modèle de l'United States. Standard Atmosphere, 1976, dans lequel l'atmosphère est divisée en sept couches successives présentant une variation linéaire de la température, comme le montre la Fig. 1.

La température T à l'altitude h est donc donnée par:

$$T(h) = T_i + L_i (h - H_i) \quad \text{K} \quad (1)$$

où:

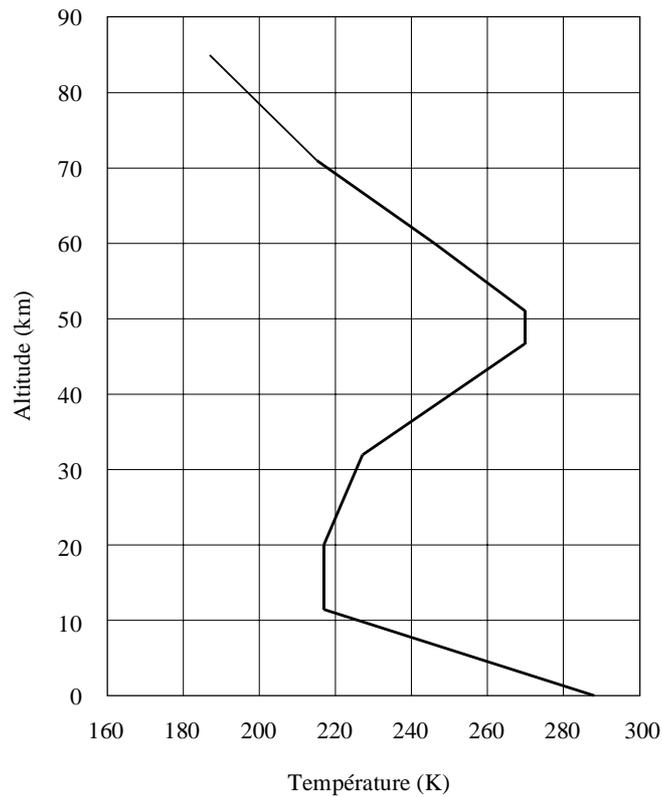
$$T_i = T(H_i) \quad (2)$$

et L_i est le gradient de température à partir de l'altitude H_i , donné dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

Indice, i	Altitude, H_i (km)	Gradient de température, L_i (K/km)
0	0	-6,5
1	11	0,0
2	20	+1,0
3	32	+2,8
4	47	0,0
5	51	-2,8
6	71	-2,0
7	85	

FIGURE 1
 Courbe de référence de la température atmosphérique



0835-01

Lorsque le gradient de température $L_i \neq 0$, la pression est donnée par l'équation:

$$P(h) = P_i \left[\frac{T_i}{T_i + L_i (h - H_i)} \right]^{34,163 / L_i} \quad \text{hPa} \quad (3)$$

et lorsque le gradient de température $L_i = 0$, on obtient la pression par l'équation:

$$P(h) = P_i \exp \left[\frac{-34,163 (h - H_i)}{T_i} \right] \quad \text{hPa} \quad (4)$$

La température et la pression normalisées au niveau du sol sont:

$$\begin{aligned} T_0 &= 288,15 && \text{K} \\ P_0 &= 1013,25 && \text{hPa} \end{aligned} \quad (5)$$

Il faut noter que, pour une altitude supérieure à 85 km, l'atmosphère commence à ne plus être en équilibre thermodynamique local et l'équation hydrostatique sur laquelle se fondent les équations ci-dessus n'est plus valable.

1.2 Pression partielle de vapeur d'eau

La répartition de la vapeur d'eau dans l'atmosphère est en général extrêmement variable, mais elle peut être approximativement calculée par l'équation:

$$\rho(h) = \rho_0 \exp(-h / h_0) \quad \text{g/m}^3 \quad (6)$$

où la hauteur d'échelle $h_0 = 2$ km et la concentration de référence en vapeur d'eau au niveau du sol est:

$$\rho_0 = 7,5 \quad \text{g/m}^3 \quad (7)$$

On obtient la pression partielle de vapeur d'eau à partir de sa concentration par l'équation (voir la Recommandation UIT-R P.453):

$$e(h) = \frac{\rho(h) T(h)}{216,7} \quad \text{hPa} \quad (8)$$

La concentration de la vapeur d'eau décroît exponentiellement lorsque l'altitude augmente, jusqu'à l'altitude où le rapport de mélange $e(h)/P(h) = 2 \times 10^{-6}$. Aux altitudes plus élevées, on suppose que le rapport de mélange reste constant.

1.3 Atmosphère sèche pour les calculs de l'affaiblissement

La courbe de densité des gaz atmosphériques autres que la vapeur d'eau («atmosphère sèche») peut être déduite des courbes de température et de pression indiquées au § 1.1.

Pour les calculs de l'affaiblissement, cette courbe de densité est pratiquement exponentielle, conformément à l'équation (6) avec:

$$h_0 = 6 \text{ km} \quad (9)$$

2 Atmosphère de référence annuelle pour les faibles latitudes

Pour les faibles latitudes (inférieures à 22°), les variations saisonnières ne sont pas très importantes et on peut utiliser un seul profil pour toute l'année.

La température T (K) à l'altitude h (km) est donnée par:

$T(h) = 300,4222 - 6,3533 h + 0,005886 h^2$	pour	$0 \leq h \leq 17$
$T(h) = 194 + (h - 17) 2,533$	pour	$17 \leq h \leq 47$
$T(h) = 270$	pour	$47 \leq h \leq 52$
$T(h) = 270 - (h - 52) 3,0714$	pour	$52 \leq h \leq 80$
$T(h) = 184$	pour	$80 \leq h \leq 100$

et la pression P (hPa) est donnée par:

$P(h) = 1012,0306 - 109,0338 h + 3,6316 h^2$	pour	$0 \leq h \leq 10$
$P(h) = P_{10} \exp[-0,147 (h - 10)]$	pour	$10 \leq h \leq 72$
$P(h) = P_{72} \exp[-0,165 (h - 72)]$	pour	$72 \leq h \leq 100$

où P_{10} et P_{72} sont les pressions à 10 et 72 km respectivement.

La concentration en vapeur d'eau (g/m^3) est donnée par:

$\rho(h) = 19,6542 \exp[-0,2313 h - 0,1122 h^2 + 0,01351 h^3$		
$- 0,0005923 h^4]$	pour	$0 \leq h \leq 15$
$\rho(h) = 0$	pour	$h > 15$

3 Atmosphère de référence pour les latitudes moyennes

Pour les latitudes moyennes (entre 22° et 45°), on peut utiliser les profils ci-après en été et en hiver.

3.1 Profil pour les latitudes moyennes en été

La température T (K) à l'altitude h (km) est donnée par:

$T(h) = 294,9838 - 5,2159 h - 0,07109 h^2$	pour	$0 \leq h \leq 13$
$T(h) = 215,5$	pour	$13 \leq h \leq 17$
$T(h) = 215,5 \exp [(h - 17) 0,008128]$	pour	$17 \leq h \leq 47$
$T(h) = 275$	pour	$47 \leq h \leq 53$
$T(h) = 275 + \{1 - \exp [(h - 53) 0,06]\} 20$	pour	$53 \leq h \leq 80$
$T(h) = 175$	pour	$80 \leq h \leq 100$

et la pression P (hPa) est donnée par:

$P(h) = 1012,8186 - 111,5569 h + 3,8646 h^2$	pour	$0 \leq h \leq 10$
$P(h) = P_{10} \exp [-0,147 (h - 10)]$	pour	$10 \leq h \leq 72$
$P(h) = P_{72} \exp [-0,165 (h - 72)]$	pour	$72 \leq h \leq 100$

où P_{10} et P_{72} sont les pressions à 10 et 72 km respectivement.

La concentration en vapeur d'eau (g/m^3) est donnée par:

$\rho(h) = 14,3542 \exp [-0,4174 h - 0,02290 h^2 + 0,001007 h^3]$	pour	$0 \leq h \leq 10$
$\rho(h) = 0$	pour	$h > 10$

3.2 Profil pour les latitudes moyennes en hiver

La température T (K) à l'altitude h (km) est donnée par:

$T(h) = 272,7241 - 3,6217 h - 0,1759 h^2$	pour	$0 \leq h \leq 10$
$T(h) = 218$	pour	$10 \leq h \leq 33$
$T(h) = 218 + (h - 33) 3,3571$	pour	$33 \leq h \leq 47$
$T(h) = 265$	pour	$47 \leq h \leq 53$
$T(h) = 265 - (h - 53) 2,0370$	pour	$53 \leq h \leq 80$
$T(h) = 210$	pour	$80 \leq h \leq 100$

et la pression P (hPa) est donnée par:

$P(h) = 1018,8627 - 124,2954 h + 4,8307 h^2$	pour	$0 \leq h \leq 10$
$P(h) = P_{10} \exp [-0,147 (h - 10)]$	pour	$10 \leq h \leq 72$
$P(h) = P_{72} \exp [-0,155 (h - 72)]$	pour	$72 \leq h \leq 100$

où P_{10} et P_{72} sont les pressions à 10 et 72 km respectivement.

La concentration en vapeur d'eau (g/m^3) est donnée par:

$\rho(h) = 3,4742 \exp [-0,2697 h - 0,03604 h^2 + 0,0004489 h^3]$	pour	$0 \leq h \leq 10$
$\rho(h) = 0$	pour	$h > 10$

4 Atmosphère de référence pour les latitudes élevées

Pour les latitudes élevées (supérieures à 45°), on peut utiliser les profils ci-après en été et en hiver.

4.1 Profil pour les latitudes élevées en été

La température T (K) à l'altitude h (km) est donnée par:

$T(h) = 286,8374 - 4,7805 h - 0,1402 h^2$	pour	$0 \leq h \leq 10$
$T(h) = 225$	pour	$10 \leq h \leq 23$
$T(h) = 225 \exp [(h - 23) 0,008317]$	pour	$23 \leq h \leq 48$
$T(h) = 277$	pour	$48 \leq h \leq 53$
$T(h) = 277 - (h - 53) 4,0769$	pour	$53 \leq h \leq 79$
$T(h) = 171$	pour	$79 \leq h \leq 100$

et la pression P (hPa) est donnée par:

$P(h) = 1008,0278 - 113,2494 h + 3,9408 h^2$	pour	$0 \leq h \leq 10$
$P(h) = P_{10} \exp [-0,140 (h - 10)]$	pour	$10 \leq h \leq 72$
$P(h) = P_{72} \exp [-0,165 (h - 72)]$	pour	$72 \leq h \leq 100$

où P_{10} et P_{72} sont les pressions à 10 et 72 km respectivement.

La concentration en vapeur d'eau (g/m^3) est donnée par:

$\rho(h) = 8,988 \exp [-0,3614 h - 0,005402 h^2 - 0,001955 h^3]$	pour	$0 \leq h \leq 15$
$\rho(h) = 0$	pour	$h > 15$

4.2 Profil pour les latitudes élevées en hiver

La température T (K) à l'altitude h (km) est donnée par:

$T(h) = 257,4345 + 2,3474 h - 1,5479 h^2 + 0,08473 h^3$	pour	$0 \leq h \leq 8,5$
$T(h) = 217,5$	pour	$8,5 \leq h \leq 30$
$T(h) = 217,5 + (h - 30) 2,125$	pour	$30 \leq h \leq 50$
$T(h) = 260$	pour	$50 \leq h \leq 54$
$T(h) = 260 - (h - 54) 1,667$	pour	$54 \leq h \leq 100$

et la pression P (hPa) est donnée par:

$P(h) = 1010,8828 - 122,2411 h + 4,554 h^2$	pour	$0 \leq h \leq 10$
$P(h) = P_{10} \exp [-0,147 (h - 10)]$	pour	$10 \leq h \leq 72$
$P(h) = P_{72} \exp [-0,150 (h - 72)]$	pour	$72 \leq h \leq 100$

où P_{10} et P_{72} sont les pressions à 10 et 72 km respectivement.

La concentration en vapeur d'eau (g/m^3) est donnée par:

$\rho(h) = 1,2319 \exp [0,07481 h - 0,0981 h^2 + 0,00281 h^3]$	pour	$0 \leq h \leq 10$
$\rho(h) = 0$	pour	$h > 10$

BIBLIOGRAPHIE

BRUSSAARD, G., DAMOSSO, E. et STOLA, L. [octobre, 1983] Characterisation of the 50-70 GHz band for space communications. *CSELT Rapporti Tecnici*, Vol. XI, N° 5.

ANNEXE 2

1 Données expérimentales des profils atmosphériques verticaux

Les moyennes mensuelles des profils verticaux de la température, de la pression et de l'humidité relative ont été calculées pour 353 points répartis dans le monde entier sur la base d'observations réalisées par radiosonde sur 10 années (1980-1989). Cet ensemble de données (DST.STD) est disponible auprès du Bureau des radiocommunications de l'UIT et contient les profils verticaux moyens mensuels, pour 00.00 UTC et 12.00 UTC, de la pression, de la température et de l'humidité relative. Ces profils, calculés en l'absence de pluie, portent sur des altitudes allant de 0 à 16 km par pas de 500 m. Un exemple de profil est donné dans le Tableau 2.

Au-dessus de cette altitude, une extrapolation peut être effectuée en utilisant les profils de référence fournis dans l'Annexe 1. Pour convertir l'humidité relative en valeurs absolues de concentration de vapeur d'eau, il convient d'utiliser les formules contenues dans la Recommandation UIT-R P.453.

TABLEAU 2

Format de données DST.STD – Exemple de profil moyen mensuel

NNNNNMMT NL
01384111 33

Press(hPa)	Z(km)	Temp(K)	RH(%/100)
.000	.00	273.16	.000E+00
950.734	.50	273.14	.730E+00
892.926	1.00	271.16	.672E+00
837.925	1.50	269.03	.581E+00
786.709	2.00	266.60	.516E+00
737.580	2.50	264.01	.467E+00
691.017	3.00	261.18	.445E+00
647.037	3.50	258.14	.427E+00
605.609	4.00	255.07	.413E+00
566.371	4.50	251.86	.402E+00
528.962	5.00	248.62	.400E+00
493.406	5.50	245.34	.362E+00
460.513	6.00	241.99	.329E+00
429.041	6.50	238.62	.297E+00
398.949	7.00	235.19	.275E+00
371.513	7.50	231.82	.237E+00
345.238	8.00	228.65	.179E+00
319.967	8.50	225.70	.139E+00
296.107	9.00	223.06	.107E+00
271.381	9.50	221.51	.943E-01
250.931	10.00	219.68	.815E-01
232.328	10.50	218.39	.723E-01
214.863	11.00	217.63	.642E-01
196.348	11.50	217.70	.539E-01
181.888	12.00	217.56	.477E-01
167.454	12.50	217.86	.421E-01
153.456	13.00	218.37	.366E-01
140.897	13.50	218.51	.317E-01
129.541	14.00	218.67	.272E-01
120.027	14.50	218.27	.253E-01
110.853	15.00	217.74	.235E-01
101.978	15.50	217.22	.220E-01
91.925	16.00	217.89	.196E-01

Légende

NNNNN = Numéro de la station OMM: 01384

MM = Mois: 11

T = Heure de lancement: 1 (1 = 00.00 UTC, 2 = 12.00 UTC)

NL = Nombre fixe des niveaux de profil: 33

Press(hPa) = Pression atmosphérique

Z(km) = Altitude au-dessus du niveau de la mer

Temp(K) = Température de l'air

RH(%/100) = Humidité relative (en pourcentage)

NOTE 1 – Le premier niveau (à la surface) peut être mis à zéro s'il n'a pas été enregistré.