

Recommandation UIT-R P.835-7

(08/2024)

Série P: Propagation des ondes radioélectriques

Atmosphères de référence

Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en œuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Également disponible en ligne: <https://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Émissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2024

© UIT 2024

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R P.835-7

Atmosphères de référence

(Question UIT-R 214/3)

(1992-1994-1997-1999-2005-2012-2017-2024)

Domaine d'application

La Recommandation UIT-R P.835 donne les atmosphères de référence utilisées pour calculer l'affaiblissement dû aux gaz et les effets connexes sur les trajets de Terre et les trajets Terre vers espace.

Mots clés

Pression totale, pression barométrique, température, densité de vapeur d'eau.

Abréviations/glossaire

a.m.s.l.	au-dessus du niveau moyen de la mer (<i>above mean sea level</i>)
ASCII	Code américain normalisé pour l'échange d'informations (<i>american standard code for information interchange</i>)
CEPMET	Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme
ERA5	produit de la réanalyse de 5ème génération réalisée par le CEPMMT

Recommandations et Manuel UIT-R connexes

Manuel de radiométéorologie (Édition de 2013)

Recommandation UIT-R P.528

Recommandation UIT-R P.530

Recommandation UIT-R P.618

Recommandation UIT-R P.619

Recommandation UIT-R P.676

Recommandation UIT-R P.836

Recommandation UIT-R P.1144

Recommandation UIT-R P.1510

Recommandation UIT-R P.1511

Recommandation UIT-R P.1853

Recommandation UIT-R P.2001

Recommandation UIT-R P.2041

Recommandation UIT-R P.2145

NOTE – Il convient d'utiliser la version révisée ou l'édition la plus récente de la Recommandation/du Manuel.

Liste de symboles

ρ	densité de vapeur d'eau
e	pression partielle de la vapeur d'eau

<i>H</i>	altitude géopotentielle au-dessus du niveau moyen de la mer
<i>P</i>	pression (barométrique) totale
<i>T</i>	température
<i>Z</i>	altitude géométrique au-dessus du niveau moyen de la mer

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'il est nécessaire de disposer d'atmosphères de référence pour calculer différents paramètres de propagation atmosphérique sur un trajet de Terre ou un trajet Terre vers espace;
- b) que les systèmes de prédiction météorologiques numériques fournissent des profils verticaux des paramètres atmosphériques moyens sur le mois ou l'année, dans la limite de leurs résolutions temporelles et spatiales,

recommande

- 1 que l'on utilise l'atmosphère de référence de l'UIT-R définie dans l'Annexe 1 pour déterminer la température, la pression (barométrique) totale et la densité de vapeur d'eau en fonction de l'altitude géométrique quand il est nécessaire de disposer d'un profil vertical unique de paramètres atmosphériques pour le monde entier;
- 2 que l'on utilise les atmosphères saisonnières de référence fournies dans l'Annexe 2 pour déterminer la température, la pression (barométrique) totale et la densité de vapeur d'eau en fonction de l'altitude géométrique quand on a besoin de connaître les données saisonnières moyennes en fonction de la latitude;
- 3 que l'on utilise les profils moyens de température, de pression (barométrique) totale et de densité de vapeur d'eau pour le monde en fonction de l'altitude géométrique fournis dans l'Annexe 3, qui ont été obtenus à partir de prévisions météorologiques numériques, quand on a besoin de disposer de données de référence pour un emplacement donné.

Annexe 1

1 Atmosphère de référence de l'UIT-R

L'atmosphère de référence de l'UIT-R définie ci-après fournit des profils de référence simples de la pression (barométrique) totale, de la température et de la densité de vapeur d'eau en fonction de l'altitude géométrique, depuis le niveau moyen de la mer jusqu'à 100 km au-dessus de celui-ci.

1.1 Température et pression

La pression (barométrique) totale et la température pour l'atmosphère de référence de l'UIT-R sont déterminées à partir de l'atmosphère normalisée des États-Unis de 1976. Cette dernière est une distribution verticale idéale hypothétique de la température et de la pression (barométrique) totale dans l'atmosphère, qui représente globalement les conditions que l'on peut rencontrer dans l'année aux latitudes moyennes. Les profils de température et de pression atmosphériques sont définis selon

deux types d'altitude¹: 1) l'altitude géopotentielle (H), comprise entre 0 km' et 84,852 km' et 2) l'altitude géométrique (Z), comprise entre 86 km et 100 km. Les conversions entre l'altitude géopotentielle H (km) et l'altitude géométrique Z (km), adoptées par l'atmosphère normalisée des États-Unis de 1976, sont les suivantes:

$$H = \frac{6356,766Z}{6356,766+Z} \quad (1a)$$

et

$$Z = \frac{6356,766H}{6356,766-H} \quad (1b)$$

où une altitude géopotentielle de 84,852 km' correspond à une altitude géométrique de 86 km. Étant donné que diverses Recommandations UIT-R de la série P (par exemple, la Recommandation UIT-R P.676, Annexe 1) utilisent l'altitude géométrique, il est possible de calculer la température et la pression à une altitude géométrique $Z \leq 86$ km en convertissant l'altitude géométrique Z pour obtenir l'altitude géopotentielle H correspondante et en calculant la température et la pression à l'altitude géopotentielle H correspondante.

Selon le premier type d'altitude, la température T (K) à l'altitude géopotentielle H (km') est:

$$T(H) = 288,15 - 6,5 H \quad \text{pour } 0 \leq H \leq 11 \quad (2a)$$

$$T(H) = 216,65 \quad \text{pour } 11 < H \leq 20 \quad (2b)$$

$$T(H) = 216,65 + (H-20) \quad \text{pour } 20 < H \leq 32 \quad (2c)$$

$$T(H) = 228,65 + 2,8 (H-32) \quad \text{pour } 32 < H \leq 47 \quad (2d)$$

$$T(H) = 270,65 \quad \text{pour } 47 < H \leq 51 \quad (2e)$$

$$T(H) = 270,65 - 2,8 (H-51) \quad \text{pour } 51 < H \leq 71 \quad (2f)$$

$$T(H) = 214,65 - 2,0 (H-71) \quad \text{pour } 71 < H \leq 84,852 \quad (2g)$$

et la pression P (hPa) à l'altitude géopotentielle H (km') est:

$$P(H) = 1013,25 \left[\frac{288,15}{288,15-6,5 H} \right]^{-34,1632/6,5} \quad \text{pour } 0 \leq H \leq 11 \quad (3a)$$

$$P(H) = 226,3226 \exp[-34,1632 (H - 11)/216,65] \quad \text{pour } 11 < H \leq 20 \quad (3b)$$

$$P(H) = 54,74980 \left[\frac{216,65}{216,65 + (H-20)} \right]^{34,1632} \quad \text{pour } 20 < H \leq 32 \quad (3c)$$

$$P(H) = 8,680422 \left[\frac{228,65}{228,65 + 2,8 (H-32)} \right]^{34,1632/2,8} \quad \text{pour } 32 < H \leq 47 \quad (3d)$$

$$P(H) = 1,109106 \exp[-34,1632 (H - 47)/270,65] \quad \text{pour } 47 < H \leq 51 \quad (3e)$$

$$P(H) = 0,6694167 \left[\frac{270,65}{270,65 - 2,8 (H-51)} \right]^{-34,1632/2,8} \quad \text{pour } 51 < H \leq 71 \quad (3f)$$

$$P(H) = 0,03956649 \left[\frac{214,65}{214,65 - 2,0 (H-71)} \right]^{-34,1632/2,0} \quad \text{pour } 71 < H \leq 84,852 \quad (3g)$$

Selon le deuxième type d'altitude, la température T (K) à l'altitude géométrique Z (km) est:

$$T(Z) = 186,8673 \quad \text{pour } 86 \leq Z \leq 91 \quad (4a)$$

$$T(Z) = 263,1905 - 76,3232 \left[1 - \left(\frac{Z-91}{19,9429} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{pour } 91 < Z \leq 100 \quad (4b)$$

et la pression P (hPa) à l'altitude géométrique Z (km) est:

$$P(Z) = \exp(a_0 + a_1 Z + a_2 Z^2 + a_3 Z^3 + a_4 Z^4) \quad \text{pour } 86 \leq Z \leq 100 \quad (5)$$

¹ L'altitude géopotentielle est exprimée en km' et l'altitude géométrique est exprimée en km.

où

$$a_0 = 95,571\,899$$

$$a_1 = -4,011\,801$$

$$a_2 = 6,424\,731 \times 10^{-2}$$

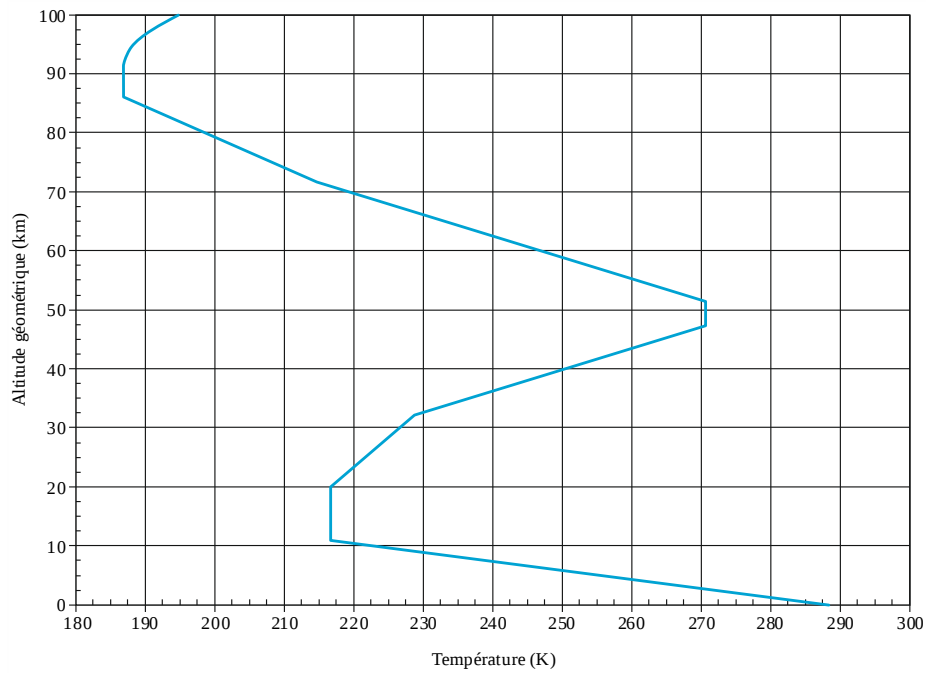
$$a_3 = -4,789\,660 \times 10^{-4}$$

$$a_4 = 1,340\,543 \times 10^{-6}$$

À toutes fins utiles, la température et la pression en fonction de l'altitude géométrique sont présentées dans les Figs 1 et 2 respectivement.

FIGURE 1

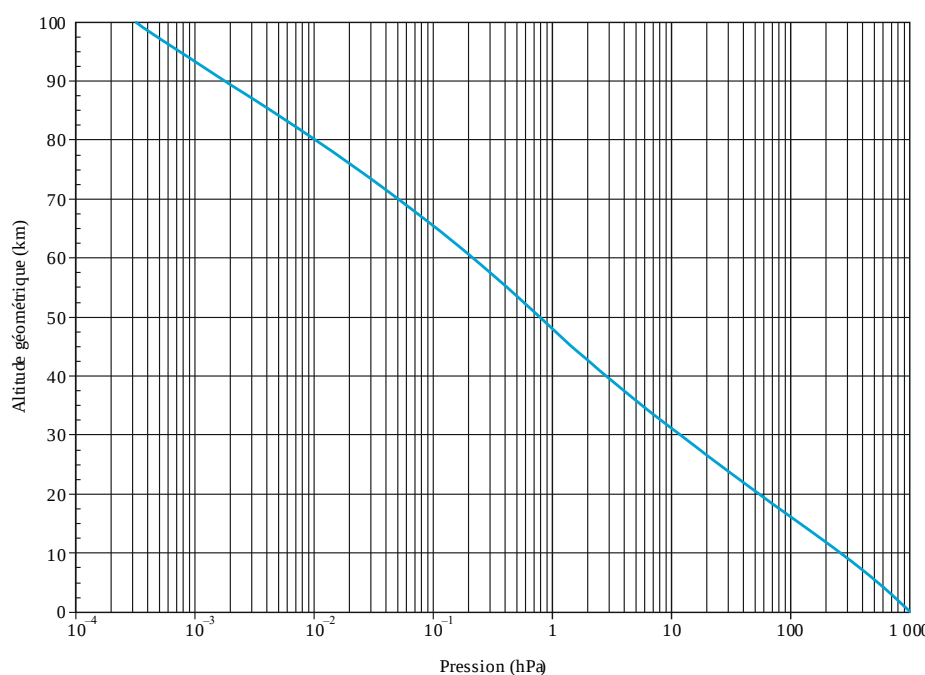
Température en fonction de l'altitude géométrique



P.0835-01

FIGURE 2

Pression totale en fonction de l'altitude géométrique



P.0835-02

1.2 Densité de vapeur d'eau

En l'absence de données locales fiables, la densité de vapeur d'eau dans l'atmosphère, ρ , en fonction de l'altitude géométrique peut être calculée de manière approximative au moyen du profil exponentiel négatif suivant:

$$\rho(Z) = 7,5 \exp(-Z/2) \quad \text{g/m}^3 \quad (6)$$

qui décroît exponentiellement lorsque l'altitude géométrique augmente, jusqu'à l'altitude géométrique où le rapport de mélange $e(Z)/P(Z) = 2 \times 10^{-6}$ et la pression partielle de la vapeur d'eau, $e(Z)$, est égale à:

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

La densité de vapeur d'eau au-dessus de cette altitude géométrique est alors donnée par:

$$\rho(Z) = 2 \times 10^{-6} \frac{P(Z) 216,7}{T(Z)} \quad \text{g/m}^3 \quad (8)$$

Annexe 2

1 Atmosphères de référence saisonnières

On trouvera dans les paragraphes suivants les atmosphères de référence saisonnières simples pour les types de latitudes basses (15° N), moyennes (45° N) et élevées (60° N) dans l'hémisphère nord. L'atmosphère de référence aux latitudes basses est définie pour les quatre saisons; aux latitudes moyennes et élevées, des atmosphères de référence sont définies pour l'été et l'hiver.

Les profils de référence pour les autres latitudes peuvent être obtenus de la façon suivante:

- $0^\circ \text{ N} \leq \text{latitude} \leq 15^\circ \text{ N}$, toute saison: on utilisera l'atmosphère de référence annuelle pour les latitudes basses.
- $15^\circ \text{ N} < \text{latitude} < 45^\circ \text{ N}$, été ou hiver: l'atmosphère de référence est obtenue par interpolation linéaire, à la latitude concernée, de l'atmosphère de référence annuelle pour les latitudes basses et de l'atmosphère de référence saisonnière adéquate pour les latitudes moyennes.
- $45^\circ \text{ N} \leq \text{latitude} < 60^\circ \text{ N}$, été ou hiver: l'atmosphère de référence est obtenue par interpolation linéaire, à la latitude concernée, des atmosphères de référence saisonnières adéquates pour les latitudes moyennes et les latitudes élevées.
- Latitude $\geq 60^\circ \text{ N}$, été ou hiver: on utilisera l'atmosphère de référence saisonnière pour les latitudes élevées adéquate pour la saison.

Bien que déterminées spécialement pour les latitudes dans l'hémisphère nord, ces atmosphères saisonnières de référence peuvent également être utilisées aux latitudes correspondantes dans l'hémisphère sud.

1.1 Atmosphère de référence annuelle pour les latitudes basses

Pour les latitudes basses (15° N), on peut utiliser les profils suivants pour les quatre saisons.

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

$$T(Z) = 300,4222 - 6,3533 Z + 0,005\,886 Z^2 \quad \text{pour } 0 \leq Z < 17 \quad (9a)$$

$$T(Z) = 194 + 2,533 (Z - 17) \quad \text{pour } 17 \leq Z < 47 \quad (9b)$$

$$T(Z) = 270 \quad \text{pour } 47 \leq Z < 52 \quad (9c)$$

$$T(Z) = 270 - 3,0714 (Z - 52) \quad \text{pour } 52 \leq Z < 80 \quad (9d)$$

$$T(Z) = 184 \quad \text{pour } 80 \leq Z \leq 100 \quad (9e)$$

et la pression (barométrique) totale P (hPa) à l'altitude géométrique Z (km) est donnée par:

$$P(Z) = 1012,0306 - 109,0338 Z + 3,6316 Z^2 \quad \text{pour } 0 \leq Z \leq 10 \quad (10a)$$

$$P(Z) = P_{10} \exp[-0,147 (Z - 10)] \quad \text{pour } 10 < Z \leq 72 \quad (10b)$$

$$P(Z) = P_{72} \exp[-0,165 (Z - 72)] \quad \text{pour } 72 < Z \leq 100 \quad (10c)$$

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

La densité de vapeur d'eau ρ (g/m^3) à l'altitude géométrique Z (km) est donnée par:

$$\rho(Z) = 19,6542 \exp[-0,2313 Z - 0,1122 Z^2 + 0,01351 Z^3 - 0,0005923 Z^4] \quad \text{pour } 0 \leq Z \leq 15 \quad (11a)$$

$$\rho(Z) = 0 \quad \text{pour } Z > 15 \quad (11b)$$

1.2 Atmosphère de référence pour les latitudes moyennes

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

1.2.1 Profil pour les latitudes moyennes en été

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

$$T(Z) = 294,9838 - 5,2159 Z - 0,07109 Z^2 \quad \text{pour } 0 \leq Z < 13 \quad (12a)$$

$$T(Z) = 215,15 \quad \text{pour } 13 \leq Z < 17 \quad (12b)$$

$$T(Z) = 215,15 \exp[0,008128 (Z - 17)] \quad \text{pour } 17 \leq Z < 47 \quad (12c)$$

$$T(Z) = 275 \quad \text{pour } 47 \leq Z < 53 \quad (12d)$$

$$T(Z) = 275 + 111,57755\{1 - \exp[0,0237 (Z - 53)]\} \quad \text{pour } 53 \leq Z < 80 \quad (12e)$$

$$T(Z) = 175 \quad \text{pour } 80 \leq Z \leq 100 \quad (12f)$$

et la pression (barométrique) totale P (hPa) à l'altitude géométrique Z (km) est donnée par:

$$P(Z) = 1012,8186 - 111,5569 Z + 3,8646 Z^2 \quad \text{pour } 0 \leq Z \leq 10 \quad (13a)$$

$$P(Z) = P_{10} \exp[-0,147 (Z - 10)] \quad \text{pour } 10 < Z \leq 72 \quad (13b)$$

$$P(Z) = P_{72} \exp[-0,165 (Z - 72)] \quad \text{pour } 72 < Z \leq 100 \quad (13c)$$

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

La densité de vapeur d'eau ρ (g/m³) à l'altitude géométrique Z (km) est donnée par:

$$\rho(Z) = 14,3542 \exp[-0,4174 Z - 0,02290 Z^2 + 0,001007 Z^3] \quad \text{pour } 0 \leq Z \leq 15 \quad (14a)$$

$$\rho(Z) = 0 \quad \text{pour } Z > 15 \quad (14b)$$

1.2.2 Profil pour les latitudes moyennes en hiver

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

$$T(Z) = 272,7241 - 3,6217 Z - 0,1759 Z^2 \quad \text{pour } 0 \leq Z < 10 \quad (15a)$$

$$T(Z) = 218 \quad \text{pour } 10 \leq Z < 33 \quad (15b)$$

$$T(Z) = 218 + 3,3571 (Z - 33) \quad \text{pour } 33 \leq Z < 47 \quad (15c)$$

$$T(Z) = 265 \quad \text{pour } 47 \leq Z < 53 \quad (15d)$$

$$T(Z) = 265 - 2,0370 (Z - 53) \quad \text{pour } 53 \leq Z < 80 \quad (15e)$$

$$T(Z) = 210 \quad \text{pour } 80 \leq Z \leq 100 \quad (15f)$$

et la pression (barométrique) totale P (hPa) à l'altitude géométrique Z (km) est donnée par:

$$P(Z) = 1018,8627 - 124,2954 Z + 4,8307 Z^2 \quad \text{pour } 0 \leq Z \leq 10 \quad (16a)$$

$$P(Z) = P_{10} \exp[-0,147 (Z - 10)] \quad \text{pour } 10 < Z \leq 72 \quad (16b)$$

$$P(Z) = P_{72} \exp[-0,155 (Z - 72)] \quad \text{pour } 72 < Z \leq 100 \quad (16c)$$

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

La densité de vapeur d'eau ρ (g/m³) à l'altitude géométrique Z (km) est donnée par:

$$\rho(Z) = 3,4742 \exp[-0,2697 Z - 0,03604 Z^2 + 0,0004489 Z^3] \quad \text{pour } 0 \leq Z \leq 10 \quad (17a)$$

$$\rho(Z) = 0 \quad \text{pour } Z > 10 \quad (17b)$$

1.3 Atmosphère de référence pour les latitudes élevées

Pour les latitudes élevées (60° N), on peut utiliser les profils ci-après en été et en hiver.

1.3.1 Profil pour les latitudes élevées en été

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

$$T(Z) = 286,8374 - 4,7805 Z - 0,1402 Z^2 \quad \text{pour } 0 \leq Z < 10 \quad (18a)$$

$$T(Z) = 225 \quad \text{pour } 10 \leq Z < 23 \quad (18b)$$

$$T(Z) = 225 \exp[0,008317 (Z - 23)] \quad \text{pour } 23 \leq Z < 48 \quad (18c)$$

$$T(Z) = 277 \quad \text{pour } 48 \leq Z < 53 \quad (18d)$$

$$T(Z) = 277 - 4,0769 (Z - 53) \quad \text{pour } 53 \leq Z < 79 \quad (18e)$$

$$T(Z) = 171 \quad \text{pour } 79 \leq Z \leq 100 \quad (18f)$$

et la pression (barométrique) totale P (hPa) à l'altitude géométrique Z (km) est donnée par:

$$P(Z) = 1008,0278 - 113,2494 Z + 3,9408 Z^2 \quad \text{pour } 0 \leq Z \leq 10 \quad (19a)$$

$$P(Z) = P_{10} \exp[-0,140 (Z - 10)] \quad \text{pour } 10 < Z \leq 72 \quad (19b)$$

$$P(Z) = P_{72} \exp[-0,165 (Z - 72)] \quad \text{pour } 72 < Z \leq 100 \quad (19c)$$

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

La concentration en vapeur d'eau ρ (g/m³) à l'altitude géométrique Z (km) est donnée par:

$$\rho(Z) = 8,988 \exp[-0,3614 Z - 0,005402 Z^2 - 0,001955 Z^3] \quad \text{pour } 0 \leq Z \leq 15 \quad (20a)$$

$$\rho(Z) = 0 \quad \text{pour } Z > 15 \quad (20b)$$

1.3.2 Profil pour les latitudes élevées en hiver

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

$$T(Z) = 257,4345 + 2,3474 Z - 1,5479 Z^2 + 0,08473 Z^3 \quad \text{pour } 0 \leq Z < 8.5 \quad (21a)$$

$$T(Z) = 217,5 \quad \text{pour } 8.5 \leq Z < 30 \quad (21b)$$

$$T(Z) = 217,5 + 2,125 (Z - 30) \quad \text{pour } 30 \leq Z < 50 \quad (21c)$$

$$T(Z) = 260 \quad \text{pour } 50 \leq Z < 54 \quad (21d)$$

$$T(Z) = 260 - 1,667 (Z - 54) \quad \text{pour } 54 \leq Z \leq 100 \quad (21e)$$

et la pression (barométrique) totale P (hPa) à l'altitude géométrique Z (km) est donnée par:

$$P(Z) = 1010,8828 - 122,2411 Z + 4,554 Z^2 \quad \text{pour } 0 \leq Z \leq 10 \quad (22a)$$

$$P(Z) = P_{10} \exp[-0,147 (Z - 10)] \quad \text{pour } 10 < Z \leq 72 \quad (22b)$$

$$P(Z) = P_{72} \exp[-0,150 (Z - 72)] \quad \text{pour } 72 < Z \leq 100 \quad (22c)$$

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

La densité de vapeur d'eau ρ (g/m³) à l'altitude géométrique Z (km) est donnée par:

$$\rho(Z) = 1,2319 \exp[0,07481 Z - 0,0981 Z^2 + 0,00281 Z^3] \quad \text{pour } 0 \leq Z \leq 10 \quad (23a)$$

$$\rho(Z) = 0 \quad \text{pour } Z > 10 \quad (23b)$$

Annexe 3

1 Profils verticaux moyens, mensuels et annuel, pour le monde entier

On trouvera dans la présente Annexe les profils verticaux moyens mensuels et le profil annuel de la pression (barométrique) totale, de la température et de la densité de vapeur d'eau sur 138 niveaux d'altitude au-dessus du niveau moyen de la mer, résultant de la moyenne sur 30 ans (1991-2020) des données de niveau provenant du modèle ERA5 du CEPMMT.

Ces profils verticaux font partie intégrante de la présente Recommandation. Ils sont donnés dans des cartes au format numérique dans les Parties 1 à 12, pour les douze mois de l'année, et dans la Partie 13 pour l'année complète. Chaque partie contient un fichier zip qui comporte quatre fichiers de carte (P.bin, T.bin, WV.bin et Z.bin) pour la période concernée. Le fichier P.bin contient les profils de

pression, le fichier T.bin les profils de température, le fichier WV.bin les profils de densité de vapeur d'eau et le fichier Z.bin les profils d'altitude géométrique au-dessus du niveau moyen de la mer. Les caractéristiques des fichiers de carte sont rassemblés dans le Tableau 1.

TABLEAU 1
Caractéristiques des fichiers de carte

Paramètre	Valeur
Format	IEEE 754
Ordre des octets	Little-endian
Précision	Simple (4 octets/valeur)
Nombre total d'octets	573 506 472
Gamme de latitudes	−90° N à 90° N
Incrément de latitude	+0,25°
Gamme de longitudes	−180° E à 180° E
Incrément de longitude	+0,25°
Nombre de points de la grille de latitude	721
Nombre de points de la grille de longitude	1 441
Nombre de niveaux d'altitude	138
Unité de pression totale	hPa
Unité de température	K
Unité de densité de vapeur d'eau	g/m ³
Unités d'altitude	km, a.m.s.l.

Chaque paramètre est stocké sous la forme d'une matrice *paramètre(ilevel, ilat, ilon)* tridimensionnelle dans laquelle, en considérant que l'indexation part de 1, *ilevel* = 1, 2, ..., 138; *ilat* = 1, 2, ..., 721; et *ilon* = 1, 2, ..., 1 441. Le premier des quatre octets correspondant à la valeur de la pression (barométrique) totale (*P*), de la température (*T*), de la densité de vapeur d'eau (*WV*), ou de l'altitude géométrique au-dessus du niveau moyen de la mer (*Z*) à n'importe quel point de la grille (*Latitude_degN*, *Longitude_degE*) et n'importe quel niveau d'altitude (*ilevel*) est le nombre d'octets *ipos*, où *ipos* varie de *ipos* = 1 à *ipos* = 573 506 469.

$$ipos = \{ilevel - 1 + (ilat - 1) \times 138 + (ilon - 1) \times 138 \times 721\} \times 4 + 1 \quad (24)$$

où:

$$ilat = (Latitude_degN + 90)/0,25 + 1 \quad (25)$$

$$ilon = (Longitude_degE + 180)/0,25 + 1 \quad (26)$$

$$ilevel = (1, 2, 3, \dots, 138) \quad (27)$$

À chaque point de la grille correspondent 138 niveaux de pression, de température et de densité de vapeur d'eau, où *P(ilevel, ilat, ilon)*, *T(ilevel, ilat, ilon)* et *WV(ilevel, ilat, ilon)* sont les valeurs de la pression totale, de la température et de la densité de vapeur d'eau à l'altitude *Z(ilevel, ilat, ilon)*

au-dessus du niveau moyen de la mer. La valeur $Z(138, ilat, ilon)$ est l'altitude ERA5² de la surface de la Terre au-dessus du niveau moyen de la mer, et la valeur $Z(1, ilat, ilon)$ est l'altitude maximale au-dessus du niveau moyen de la mer au niveau du point associé de la grille. La valeur $Z(138, ilat, ilon)$ peut être différente de l'altitude topographique, donnée dans la Recommandation UIT-R P.1511 et déterminée par des mesures d'altimétrie radar par satellite à haute résolution combinées à des données altimétriques locales.

² L'altitude géométrique ERA5 de la surface de la Terre au-dessus du niveau moyen de la mer est calculée en divisant l'énergie potentielle gravitationnelle ERA5 d'une masse unitaire située à la surface de la Terre (m^2/s^2) par l'accélération due à la pesanteur ($9,80665 \text{ m/s}^2$), puis en convertissant en altitude géométrique l'altitude géopotentielle de la surface de la Terre ainsi obtenue.