

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R P.840-4
(10/2009)

**Affaiblissement dû aux nuages
et au brouillard**

Série P
Propagation des ondes radioélectriques



Union
internationale des
télécommunications

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 l'Annexe 1 de 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 oeuvre 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

(Egalement disponible en ligne: <http://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	Emissions 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, 2010

© UIT 2010

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.840-4

Affaiblissement dû aux nuages et au brouillard

(Question UIT-R 201/3)

(1992-1994-1997-1999-2009)

Domaine d'application

La présente Recommandation décrit des méthodes permettant de prévoir l'affaiblissement dû aux nuages et au brouillard sur les trajets Terre vers espace.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'il est nécessaire de fournir des indications aux ingénieurs chargés de concevoir des systèmes de télécommunication Terre vers espace à des fréquences supérieures à 10 GHz;
- b) que l'affaiblissement dû aux nuages peut constituer un facteur important, s'agissant en particulier de systèmes hyperfréquences fonctionnant à des fréquences largement supérieures à 10 GHz ou de systèmes à faible disponibilité;
- c) que, pour calculer la série chronologique de l'affaiblissement total ainsi que pour les méthodes de prévision spatio-temporelles, une expression analytique pour les statistiques du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage est nécessaire,

recommande

- 1 que les courbes, les modèles et les cartes figurant à l'Annexe 1 soient utilisés pour calculer l'affaiblissement dû aux nuages et au brouillard;
- 2 que les informations contenues dans l'Annexe 1 soient utilisées pour les calculs sur le plan mondial des effets de la propagation devant être effectués notamment au moyen de modèles de canaux spatio-temporels et nécessitant une expression analytique des statistiques du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage.

Annexe 1**1 Introduction**

Dans le cas de nuages ou de brouillard composés entièrement de gouttelettes minuscules, d'un diamètre généralement inférieur à 0,01 cm, l'approximation de Rayleigh est valable pour les fréquences inférieures à 200 GHz, et l'on peut exprimer l'affaiblissement en fonction du contenu total en eau par unité de volume. L'affaiblissement linéique dans de tels nuages ou un tel brouillard s'exprime alors par la formule:

$$\gamma_c = K_l M \quad \text{dB/km} \quad (1)$$

où:

γ_c : affaiblissement linéique (dB/km) à l'intérieur du nuage

K_l : affaiblissement linéique spécifique ((dB/km)/(g/m³))

M : concentration en eau liquide dans les nuages ou le brouillard (g/m³).

Aux fréquences de l'ordre de 100 GHz et aux fréquences supérieures, l'affaiblissement par le brouillard peut devenir important. La concentration en eau liquide dans le brouillard est en général égale à environ 0,05 g/m³ pour un brouillard modéré (visibilité de l'ordre de 300 m) et de 0,5 g/m³ pour un brouillard épais (visibilité de l'ordre de 50 m).

2 Affaiblissement linéique spécifique

On peut utiliser un modèle mathématique basé sur la diffusion de Rayleigh, qui utilise un modèle de Debye double pour la permittivité diélectrique $\epsilon(f)$ de l'eau pour calculer la valeur de K_l pour les fréquences inférieures à 1 000 GHz:

$$K_l = \frac{0,819f}{\epsilon''(1 + \eta^2)} \quad (\text{dB/km})/(\text{g/m}^3) \quad (2)$$

où f est la fréquence (GHz) et:

$$\eta = \frac{2 + \epsilon'}{\epsilon''} \quad (3)$$

La permittivité diélectrique complexe de l'eau est donnée par la formule:

$$\epsilon''(f) = \frac{f(\epsilon_0 - \epsilon_1)}{f_p[1 + (f/f_p)^2]} + \frac{f(\epsilon_1 - \epsilon_2)}{f_s[1 + (f/f_s)^2]} \quad (4)$$

$$\epsilon'(f) = \frac{\epsilon_0 - \epsilon_1}{[1 + (f/f_p)^2]} + \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{[1 + (f/f_s)^2]} + \epsilon_2 \quad (5)$$

où:

$$\epsilon_0 = 77,6 + 103,3(\theta - 1) \quad (6)$$

$$\epsilon_1 = 5,48 \quad (7)$$

$$\epsilon_2 = 3,51 \quad (8)$$

$$\theta = 300 / T \quad (9)$$

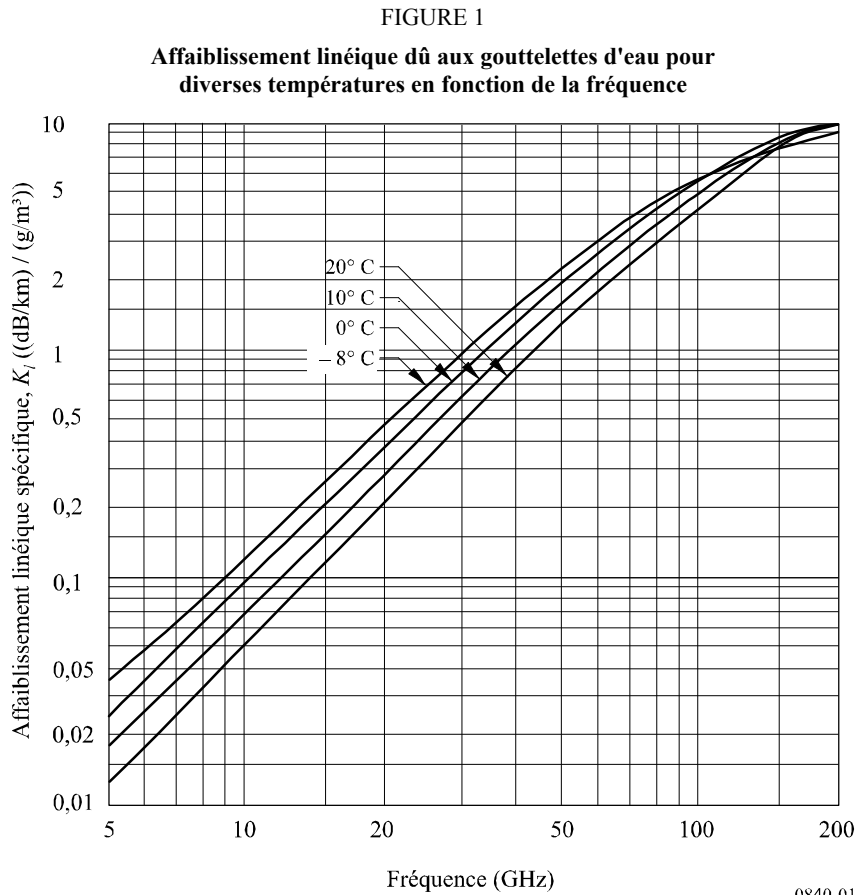
où T est la température (K).

Les fréquences de relaxation principale et secondaire sont:

$$f_p = 20,09 - 142 (\theta - 1) + 294 (\theta - 1)^2 \quad \text{GHz} \quad (10)$$

$$f_s = 590 - 1\,500 (\theta - 1) \quad \text{GHz} \quad (11)$$

La Fig. 1 indique les valeurs de K_l pour des fréquences comprises entre 5 et 200 GHz et des températures variant de -8°C à 20°C . Pour l'affaiblissement par les nuages, il convient d'utiliser la courbe correspondant à 0°C .



3 Affaiblissement dû aux nuages

Pour obtenir l'affaiblissement dû aux nuages pour une valeur de probabilité donnée, il faut connaître les statistiques du contenu total d'une colonne en eau liquide L (exprimé en kg/m^2 ou, de manière équivalente, en mm d'eau précipitable) pour le site considéré; on a alors:

$$A = \frac{L K_l}{\sin \theta} \quad \text{dB} \quad \text{pour } 90^\circ \geq \theta \geq 5^\circ \quad (12)$$

où θ est l'angle d'élévation et K_l est tiré de la Fig. 1. Il convient de noter que K_l est identique au coefficient d'absorption massique a_L introduit dans l'équation (1) de la Recommandation UIT-R P.836.

Les statistiques du contenu total d'une colonne en eau liquide peuvent être obtenues par des mesures radiométriques ou par des lancements de radiosondes.

4 Contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage

Le contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage, exprimé en kg/m^2 ou, de façon équivalente, en mm d'eau liquide, peut être obtenu soit à partir de données provenant de radiosondes soit à l'aide de mesures radiométriques. Les données obtenues à l'aide de radiosondes sont largement disponibles mais présentent une résolution temporelle limitée et ne s'appliquent qu'aux trajets en direction du zénith. Le contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage peut également être obtenu par extraction de mesures radiométriques aux fréquences appropriées, le long du trajet souhaité.

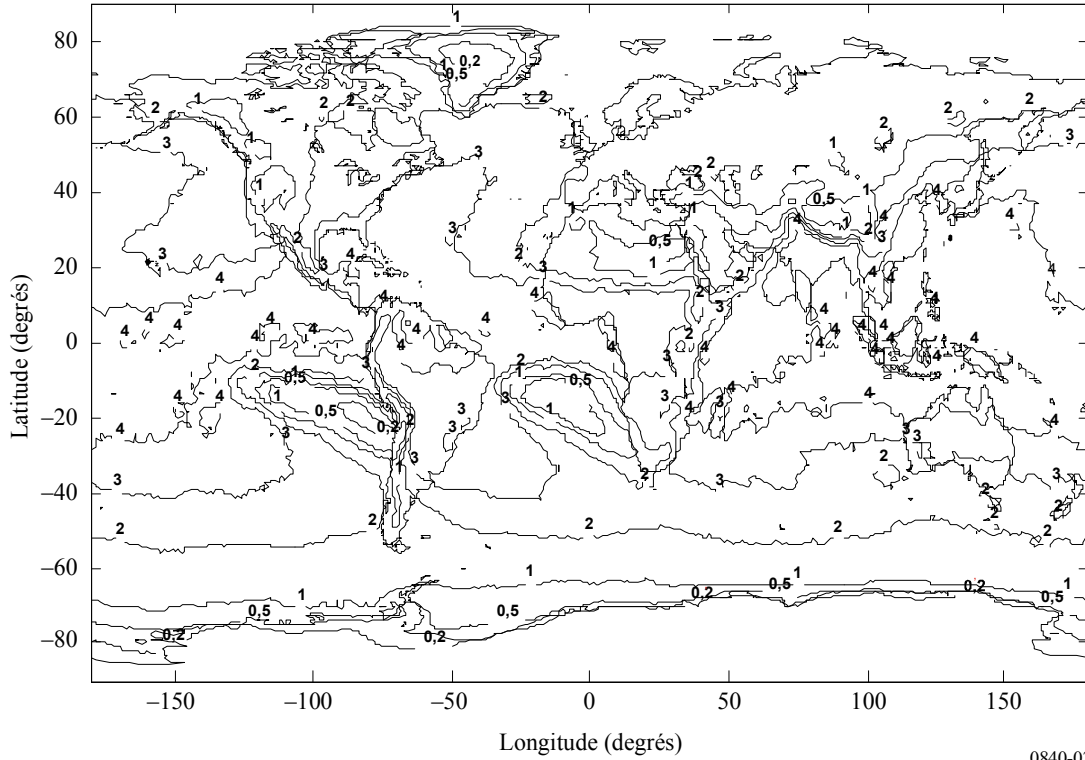
Les valeurs annuelles L (kg/m^2) du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage, dépassées pendant 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 et 99 % du temps sur une année moyenne, sont disponibles sous forme de cartes numériques sur le site web de la Commission d'études 3 des radiocommunications, dans les fichiers de données ESAWRED_xx_v4.TXT, où xx = 01, 02, 03, 05, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 et 99. Les données correspondent à une longitude comprise entre 0° et 360° et à une latitude comprise entre $+90^\circ$ et -90° avec une résolution de $1,25^\circ$ en longitude et en latitude. Ces données doivent être utilisées avec les fichiers de données associés ESALAT_1dot125.TXT et ESALON_1dot125.TXT, qui contiennent les latitudes et les longitudes des entrées correspondantes (points de la grille) des fichiers de données ESAWRED_xx_v4.TXT. Le contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage en tout emplacement voulu à la surface de la Terre peut être déterminé par application de la méthode d'interpolation suivante:

- déterminer les deux probabilités p_{above} et p_{below} supérieure et inférieure à la probabilité p voulue à partir de la série 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 et 99%;
- pour les deux probabilités p_{above} et p_{below} , déterminer les valeurs V_1 , V_2 , V_3 et V_4 du contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau aux quatre points de la grille les plus proches;
- déterminer les valeurs L_{above} et L_{below} du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage, pour les probabilités p_{above} et p_{below} par interpolation bilinéaire des quatre valeurs L_1 , L_2 , L_3 et L_4 du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage aux quatre points de la grille, selon la méthode décrite dans la Recommandation UIT-R P.1144;
- déterminer le contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau L à la probabilité p par interpolation des valeurs L_{above} et L_{below} en fonction de p_{above} et p_{below} sur une échelle semi-logarithmique de L en fonction de p .

A noter que les cartes numériques représentant le contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage contiennent le symbole NaN (Not-a-Number – pas de valeur) lorsque, pour une probabilité annuelle de dépassement donnée, il n'y a pas de valeur correspondante du contenu total en vapeur d'eau.

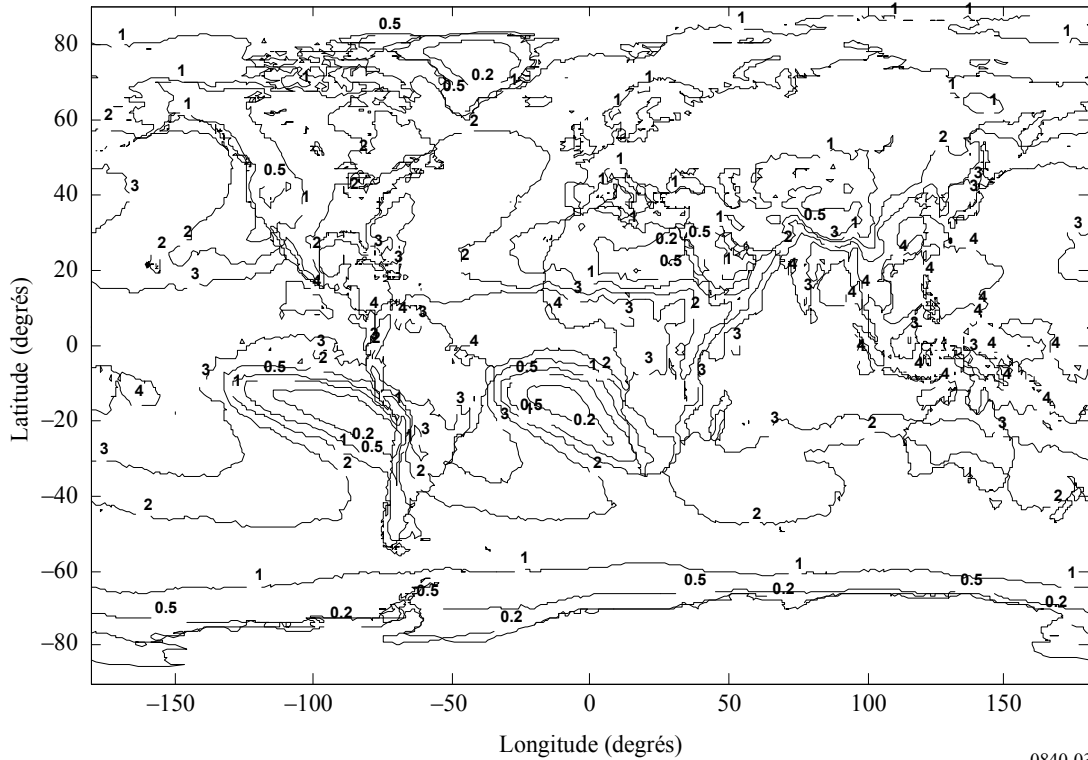
Des exemples de contours du contenu total d'une colonne en eau liquide de nuage sont donnés dans les Fig. 2, 3, 4, 5, 6 et 7 pour des probabilités de dépassement de 0,1, 0,5, 1,5, 10 et 20%.

FIGURE 2
Contenu total normalisé d'une colonne d'air en eau liquide de nuage (kg/m²) dépassé pendant 0,1% du temps sur une année



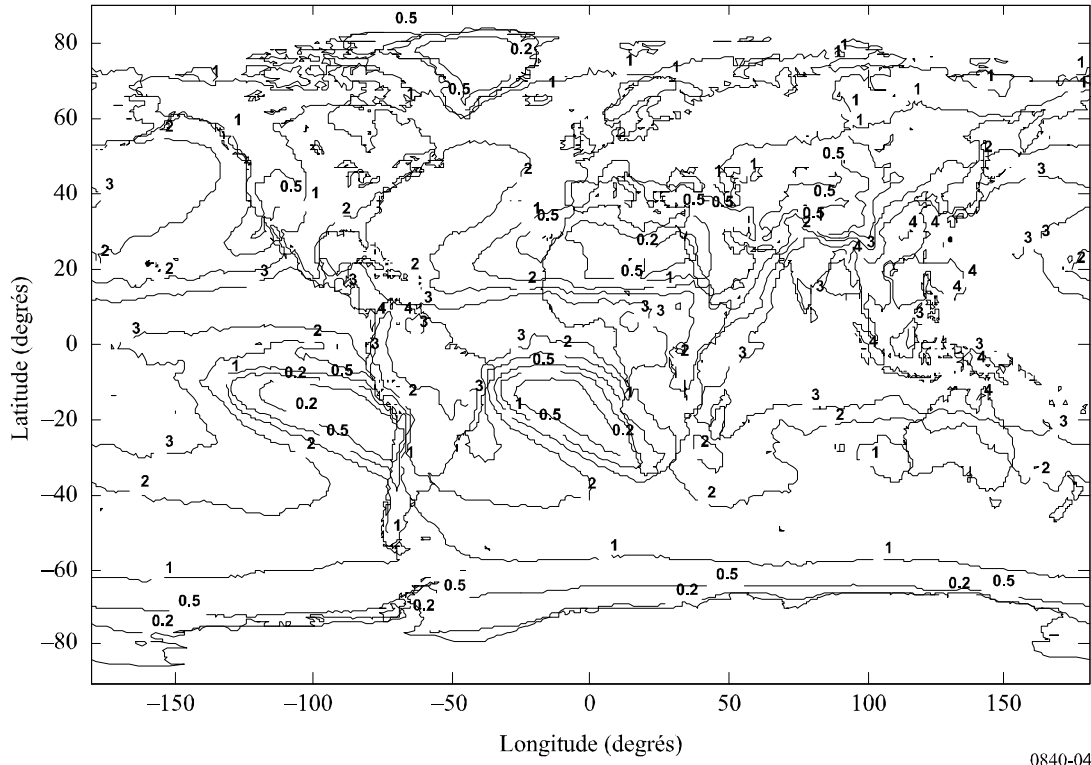
0840-02

FIGURE 3
Contenu total normalisé d'une colonne d'air en eau liquide de nuage (kg/m²) dépassé pendant 0,5% du temps sur une année



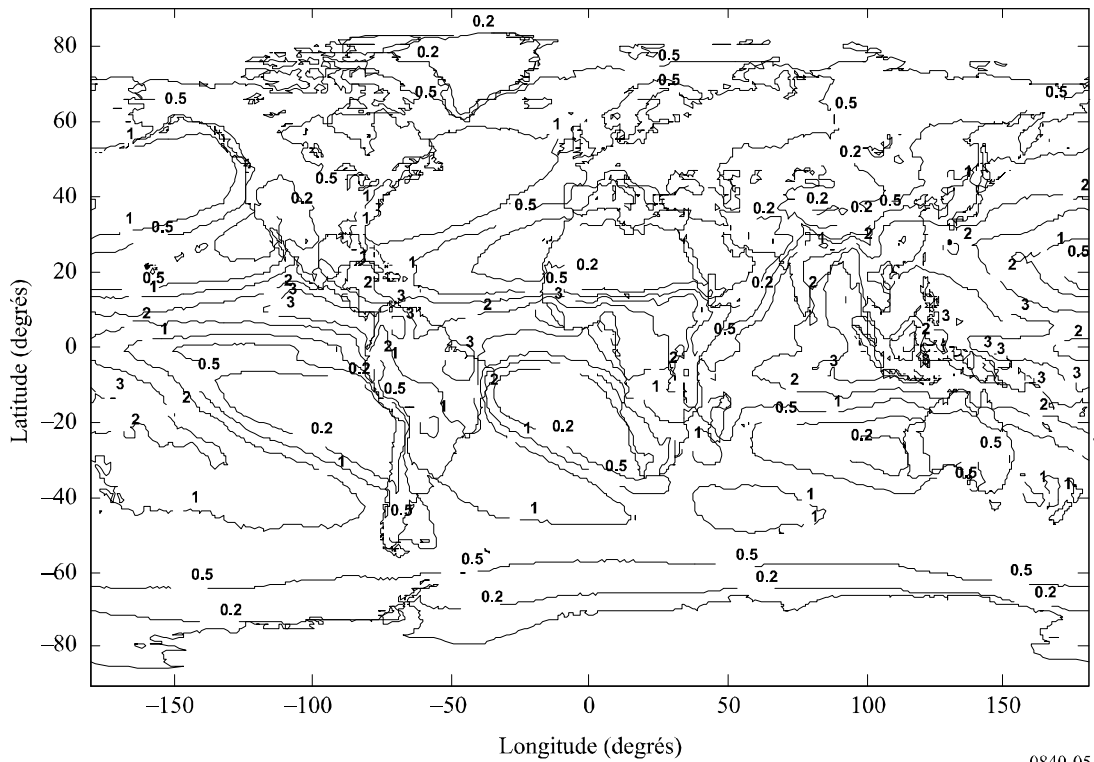
0840-03

FIGURE 4
Contenu total normalisé d'une colonne d'air en eau liquide de nuage (kg/m²) dépassé pendant 1% du temps sur une année



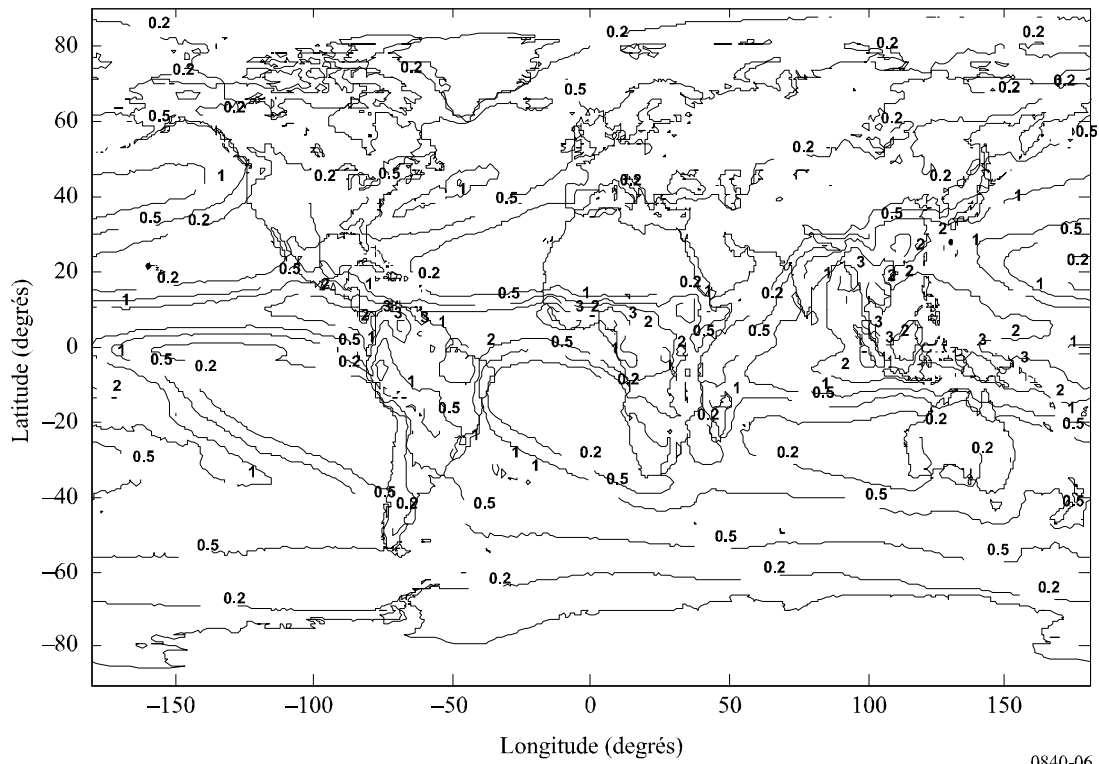
0840-04

FIGURE 5
Contenu total normalisé d'une colonne d'air en eau liquide de nuage (kg/m²) dépassé pendant 5% du temps sur une année



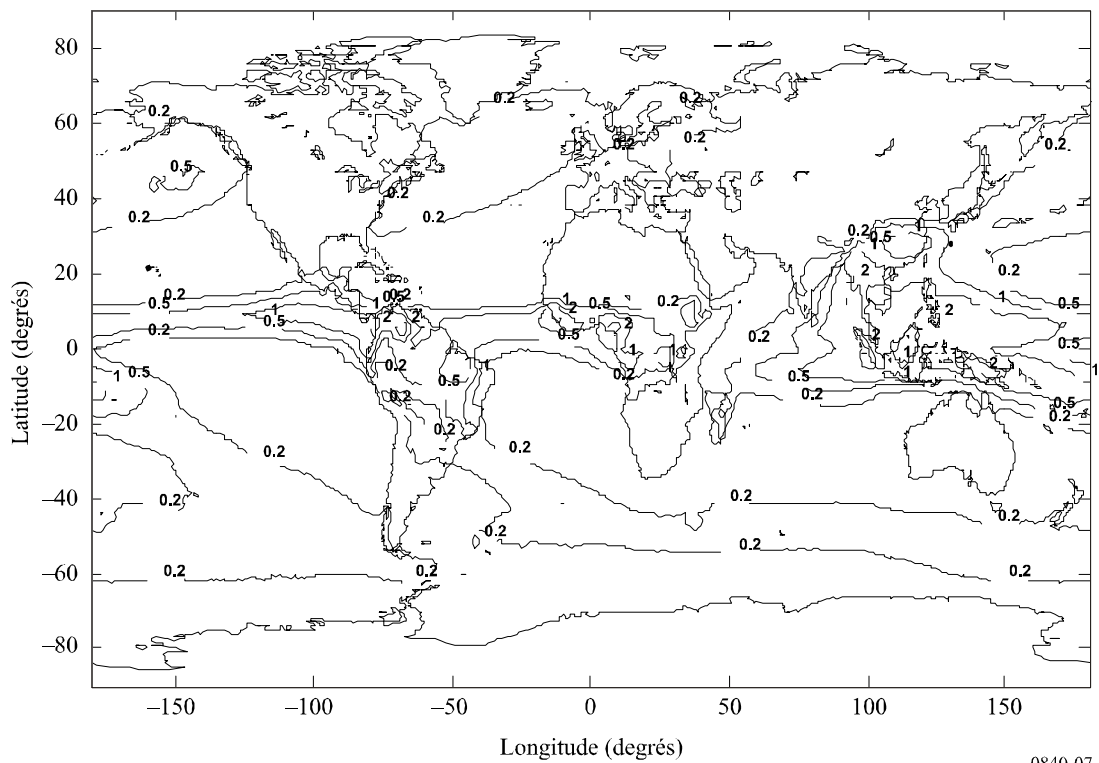
0840-05

FIGURE 6
 Contenu total normalisé d'une colonne d'air en eau liquide de nuage (kg/m²) dépassé
 pendant 10% du temps sur une année



0840-06

FIGURE 7
 Contenu total normalisé d'une colonne d'air en eau liquide de nuage (kg/m²) dépassé
 pendant 20% du temps sur une année



0840-07

5 Distribution statistique du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage

Les statistiques du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage peuvent être obtenues de manière approchée au moyen d'une distribution log-normale. Les paramètres m (valeur moyenne), σ (écart type) et P_{clw} (probabilité d'eau liquide) de la distribution log-normale sont disponibles sous forme de cartes numériques sur le site web de la Commission d'études 3 des radiocommunications, dans les fichiers de données WRED_LOGNORMAL_MEAN_v4.TXT, WRED_LOGNORMAL_STDEV_v4.TXT et WRED_LOGNORMAL_PCLW_v4.TXT. Les valeurs sont données entre 0° et 360° en longitude et entre $+90^\circ$ et -90° en latitude, avec une résolution de $1,125^\circ$ en longitude et en latitude. Ces valeurs doivent être utilisées avec les fichiers de données associés ESALAT_1dot125.TXT et ESALON_1dot125.TXT qui contiennent respectivement les latitudes et les longitudes des entrées correspondantes (points de la grille) dans les fichiers de données WRED_LOGNORMAL_MEAN_v4.TXT, WRED_LOGNORMAL_STDEV_v4.TXT et WRED_LOGNORMAL_PCLW_v4.TXT. Le contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage en tout emplacement voulu à la surface de la Terre peut être déterminé par application de la méthode d'interpolation suivante:

- déterminer les paramètres $m_1, m_2, m_3, m_4, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, P_{CLW1}, P_{CLW2}, P_{CLW3},$ et P_{CLW4} aux quatre points de la grille les plus proches;
- déterminer les valeurs L_1, L_2, L_3 et L_4 du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage pour la probabilité p voulue aux quatre points de la grille les plus proches, à partir des paramètres $m_1, m_2, m_3, m_4, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, P_{CLW1}, P_{CLW2}, P_{CLW3},$ et P_{CLW4} , au moyen de la formule suivante:

$$L_i = e^{m_i + \sigma_i Q^{-1}\left(\frac{P}{P_{CLWi}}\right)} \quad \text{pour } i = 1, 2, 3, 4 \quad (13)$$

où:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (14)$$

- déterminer le contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau à l'emplacement voulu par interpolation bilinéaire des quatre valeurs L_1, L_2, L_3 et L_4 du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage aux quatre points de la grille, comme indiqué dans la Recommandation UIT-R P.1144.

A noter que les cartes numériques représentant le contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau contiennent le symbole NaN (Not-a-Number – pas de valeur) lorsque, pour une probabilité annuelle de dépassement donnée, il n'y a pas de valeur correspondante du contenu total en vapeur d'eau.