

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R P.840-7
(12/2017)

**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, 2018

© UIT 2018

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.840-7

Affaiblissement dû aux nuages et au brouillard

(Question UIT-R 201/3)

(1992-1994-1997-1999-2009-2012-2013-2017)

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;
- d) que des données locales de mesure du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage peuvent ne pas être disponibles,

recommande

- 1** que, si on ne dispose pas de données locales de mesure du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage, la méthode décrite dans le § 3.1 de l'Annexe 1 soit utilisée afin de prévoir l'affaiblissement dû aux nuages et au brouillard;
- 2** que, si on dispose de données locales de mesure du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage, la méthode décrite dans le § 3.2 de l'Annexe 1 soit utilisée pour calculer l'affaiblissement dû aux nuages;
- 3** que les informations contenues dans le § 4 de 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 allant jusqu'à 200 GHz, et l'affaiblissement linéique dans de tels nuages ou un tel brouillard s'exprime alors par la formule:

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

où:

- γ_c : affaiblissement linéique (dB/km) à l'intérieur du nuage
- K_l : affaiblissement linéique spécifique dû à l'eau liquide de nuage ((dB/km)/(g/m³))
- M : concentration en eau liquide dans les nuages ou le brouillard (g/m³)
- f : fréquence (GHz)
- T : température de l'eau liquide de nuage (K).

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 dû à l'eau liquide de nuage

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 200 GHz:

$$K_l(f, T) = \frac{0,819f}{\epsilon''(1+\eta^2)} \text{ (dB/km)/(g/m}^3\text{)} \quad (2)$$

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:

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

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

où:

$$\epsilon_0 = 77,66 + 103,3 (\theta - 1) \quad (6)$$

$$\epsilon_1 = 0,0671\epsilon_0 \quad (7)$$

$$\epsilon_2 = 3,52 \quad (8)$$

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

et T est la température de l'eau liquide (K).

Les fréquences de relaxation principale et secondaire, respectivement f_p et f_s , sont:

$$f_p = 20,20 - 146 (\theta - 1) + 316 (\theta - 1)^2 \quad (\text{GHz}) \quad (10)$$

$$f_s = 39,8f_p \quad (\text{GHz}) \quad (11)$$

3 Affaiblissement dû aux nuages le long de trajets obliques

Si on ne dispose pas de données locales de mesure du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage, L (exprimé en kg/m^2 ou, de manière équivalente, en mm), la méthode décrite dans le § 3.1 devrait être utilisée pour prévoir l'affaiblissement dû aux nuages le long de trajets obliques. Cette méthode de prévision est basée sur les données ERA-40, pour lesquelles on considère le contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage ramené à une température fixe de 273,15 K, L_{red} (exprimé en kg/m^2 ou, de manière équivalente, en mm).

Si des données locales de mesure du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage, L , sont disponibles à partir d'autres sources, par exemple à partir de mesures radiométriques au sol, de produits d'observations de la Terre ou de produits numériques météorologiques, il convient d'utiliser la méthode décrite dans le § 3.2 pour calculer l'affaiblissement dû aux nuages le long de trajets obliques.

3.1 Distribution de l'affaiblissement dû aux nuages le long de trajets obliques fondé sur des cartes mondiales numériques

L'affaiblissement dû aux nuages le long de trajets obliques, A , pour une probabilité p donnée vaut:

$$A = \frac{L_{red} K_l(f, 273,15)}{\sin \varphi} \quad (\text{dB}) \quad \text{pour } 90^\circ \geq \varphi \geq 5^\circ \quad (12)$$

où L_{red} est le contenu total d'une colonne d'air en eau liquide ramené à une température de 273,15 K (exprimé en kg/m^2 ou, de manière équivalente, en mm) pour une probabilité p , φ est l'angle d'élévation et K_l est calculé à l'aide des formules (2) à (11) pour une température de l'eau de 273,15 K.

Les valeurs annuelles L_{red} (kg/m^2) du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage réduite, correspondant à un niveau de probabilité de dépassement de 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 en moyenne, font partie intégrante de la présente Recommandation et sont disponibles sous forme de cartes numériques.

Les valeurs mensuelles L_{red} (kg/m^2) du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage réduite, correspondant à un niveau de probabilité de dépassement de 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 et 99% du temps sur le mois correspondant en moyenne, font partie intégrante de la présente Recommandation et sont disponibles sous forme de cartes numériques.

Ces cartes numériques sont disponibles dans le Supplément R-REC-P.840-7-Maps.zip.

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 $1,125^\circ$ en longitude et en latitude.

Le contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage réduite 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 statistiques annuelles et à partir de la série 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95 et 99% pour les statistiques mensuelles;

- b) pour les deux probabilités p_{above} et p_{below} , déterminer les valeurs $L_{\text{red}1}$, $L_{\text{red}2}$, $L_{\text{red}3}$ et $L_{\text{red}4}$ du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage réduite aux quatre points de la grille les plus proches;
- c) déterminer les valeurs L_{redabove} et L_{redbelow} du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage réduite, pour les probabilités p_{above} et p_{below} par interpolation bilinéaire des quatre valeurs $L_{\text{red}1}$, $L_{\text{red}2}$, $L_{\text{red}3}$ et $L_{\text{red}4}$ du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage réduite aux quatre points de la grille, selon la méthode décrite dans la Recommandation UIT-R P.1144;
- d) déterminer le contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage réduite L_{red} à la probabilité p voulue par interpolation des valeurs L_{redabove} et L_{redbelow} en fonction de p_{above} et p_{below} sur une échelle semi-logarithmique de L_{red} en fonction de p .

3.2 Affaiblissement dû aux nuages le long de trajets obliques fondé sur des données locales

L'affaiblissement dû aux nuages le long de trajets obliques, A , vaut:

$$A = \frac{LK_1^*(f, 273, 15)}{\sin \varphi} \quad (\text{dB}) \quad \text{pour } 90^\circ \geq \varphi \geq 5^\circ \quad (13)$$

où L est le contenu total d'une colonne d'air en eau liquide (exprimé en kg/m^2 ou, de manière équivalente, en mm), φ est l'angle d'élévation, et K_1^* est calculé comme suit:

$$K_1^*(f, T) = \frac{0,819 (1,9479 \cdot 10^{-4} f^{2,308} + 2,9424 f^{0,7436} - 4,9451)}{\varepsilon^n (1 + \eta^2)} \quad (\text{dB}/\text{km})/(\text{g}/\text{m}^3) \quad (14)$$

où η est donné dans l'équation (3), ε^n est donné dans l'équation (4) et la température de l'eau liquide T est de 273,15 K.

4 Approximation de L_{red} à l'aide d'une distribution log-normale

Les statistiques annuelles du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage réduite peuvent être obtenues de manière approchée au moyen d'une distribution log-normale. Les cartes numériques des paramètres m (valeur moyenne), σ (écart type) et P_{clw} (probabilité pour le contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage ramené à une température non nulle) de la distribution log-normale font partie intégrante de la présente Recommandation.

Le contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage réduite en tout emplacement voulu à la surface de la Terre peut être déterminé par application de la méthode d'interpolation suivante:

- a) déterminer les paramètres m_1 , m_2 , m_3 , m_4 , σ_1 , σ_2 , σ_3 , σ_4 , $P_{\text{CLW}1}$, $P_{\text{CLW}2}$, $P_{\text{CLW}3}$, et $P_{\text{CLW}4}$ aux quatre points de la grille les plus proches;
- b) déterminer les valeurs $L_{\text{red}1}$, $L_{\text{red}2}$, $L_{\text{red}3}$ et $L_{\text{red}4}$ du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage réduite 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 , σ_1 , σ_2 , σ_3 , σ_4 , $P_{\text{CLW}1}$, $P_{\text{CLW}2}$, $P_{\text{CLW}3}$, et $P_{\text{CLW}4}$, au moyen de la formule suivante:

$$L_{\text{red},i} = e^{m_i + \sigma_i Q^{-1}\left(\frac{P}{P_{\text{CLW}i}}\right)} \quad \text{pour } i = 1, 2, 3, 4 \quad (15)$$

où:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (16)$$

- c) déterminer le contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage réduite à l'emplacement voulu par interpolation bilinéaire des quatre valeurs L_{red1} , L_{red2} , L_{red3} et L_{red4} du contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage réduite aux quatre points de la grille, comme indiqué dans la Recommandation UIT-R P.1144.
-