

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R P.1815-1
(10/2009)

Affaiblissement différentiel dû à la pluie

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.1815-1*

Affaiblissement différentiel dû à la pluie

(Question UIT-R 208/3)

(2007-2009)

Champ d'application

La présente Recommandation permet de prévoir les statistiques conjointes de l'affaiblissement différentiel dû à la pluie entre un satellite et deux emplacements à la surface de la Terre.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'il est nécessaire d'avoir des techniques appropriées permettant de prévoir l'affaiblissement différentiel dû à la pluie sur les trajets entre un seul satellite et plusieurs emplacements à la surface de la Terre, aux fins des analyses de partage;
- b) que l'on dispose d'estimations de la corrélation spatiale du taux de précipitation;
- c) que des méthodes ont été mises au point pour prévoir l'affaiblissement différentiel dû à la pluie entre trajets espace vers Terre,

recommande

1 d'utiliser les méthodes décrites dans l'Annexe 1 pour prévoir l'affaiblissement différentiel dû à la pluie sur des trajets entre un seul satellite et plusieurs emplacements à la surface de la Terre.

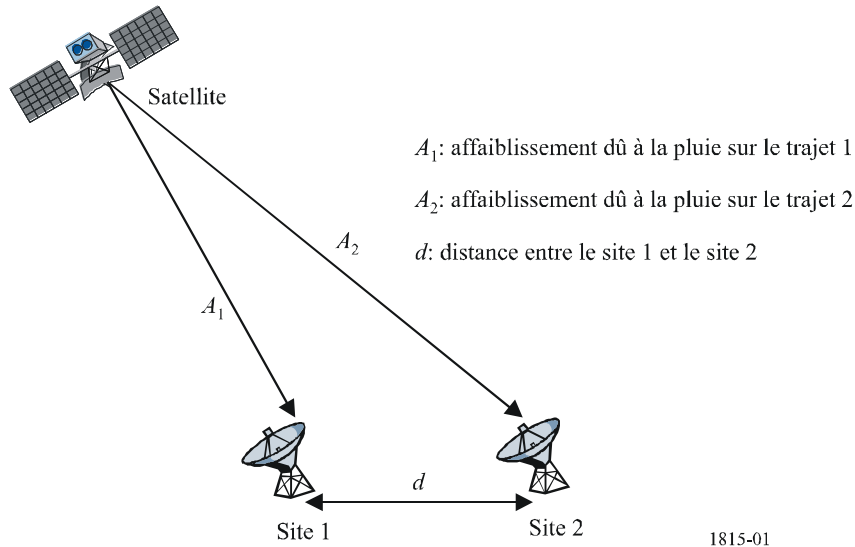
Annexe 1**Description de la méthode de prévision
de l'affaiblissement différentiel dû à la pluie****1 Introduction**

La méthode décrite dans la présente Annexe permet de prévoir les statistiques conjointes de l'affaiblissement différentiel dû à la pluie sur les trajets entre un satellite et deux emplacements à la surface de la Terre. Elle est utilisée pour les fréquences allant jusqu'à 55 GHz, pour des angles d'élévation de plus de 10° environ et pour des sites séparés par une distance comprise entre 0 et au moins 250 km.

* La Commission d'études 3 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à la présente Recommandation en 2016 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 1.

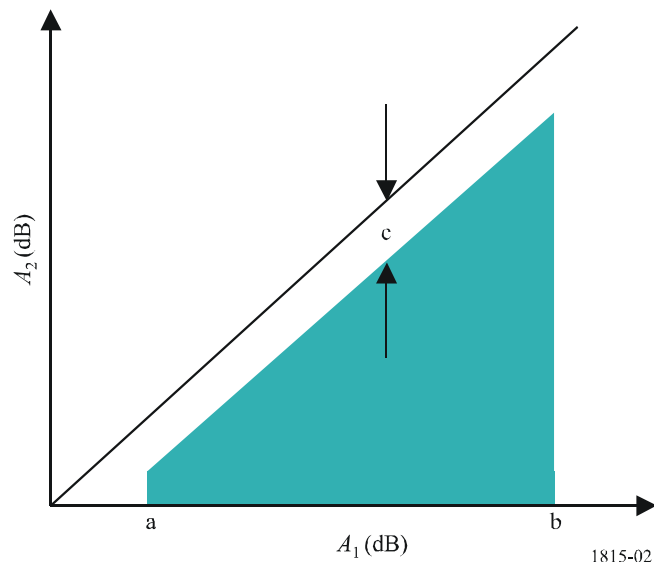
Cette méthode tient compte des caractéristiques statistiques et temporelles relatives aux dimensions des cellules de pluie, de l'intensité des précipitations ainsi que du mouvement des cellules de pluie qui se rapportent à l'affaiblissement différentiel dû à la pluie.

FIGURE 1
Géométrie de l'affaiblissement différentiel



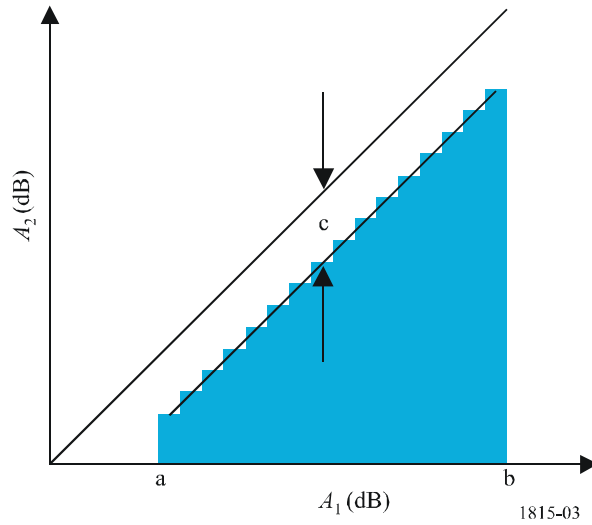
La géométrie est illustrée sur la Fig. 1 dans laquelle A_1 et A_2 sont respectivement l'affaiblissement dû à la pluie sur le trajet 1 et sur le trajet 2. La statistique souhaitée est la probabilité conjointe pour que l'affaiblissement sur le premier trajet, A_1 , se situe entre a et b et que l'affaiblissement sur le second trajet, A_2 , soit inférieur ou égal à $A_1 - c$; en d'autres termes $\Pr\{a < A_1 \leq b, A_2 \leq A_1 - c\}$. Cette probabilité conjointe est représentée graphiquement sur la Fig. 2 comme étant la probabilité intégrée dans la zone ombrée.

FIGURE 2
Distribution de probabilité conjointe souhaitée



Une bonne approximation de la probabilité conjointe à l'intérieur de la zone ombrée de la Fig. 2 peut être donnée par la somme des probabilités intégrées à l'intérieur des zones rectangulaires verticales étroites illustrées sur la Fig. 3.

FIGURE 3
Approximation de la distribution de probabilité conjointe souhaitée



La probabilité conjointe à l'intérieur de la région ombrée sur la Fig. 3 peut être calculée comme étant la différence entre la probabilité conjointe à l'intérieur de la région ombrée sur la Fig. 4 et la probabilité conjointe à l'intérieur de la région ombrée sur la Fig. 5.

FIGURE 4
 $\Pr(A_1 \geq a) - \Pr(A_1 \geq b)$

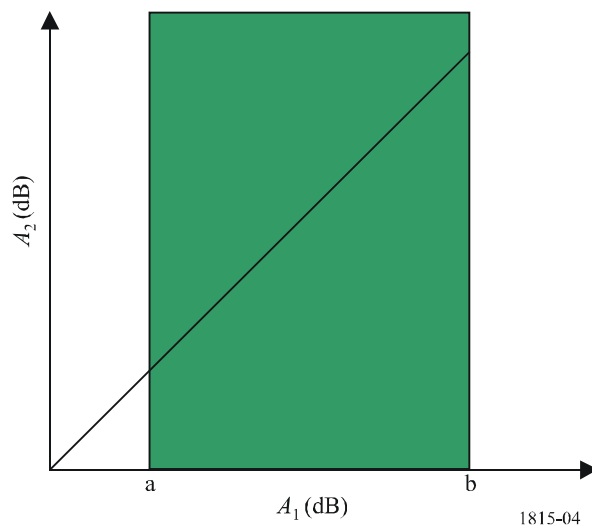
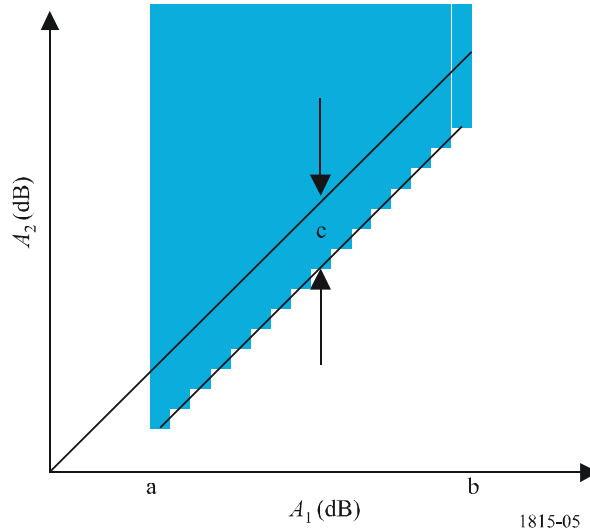


FIGURE 5

$$\sum_{i=1}^n \left\{ \Pr \left(A_1 \geq a + (i-1)\delta - \frac{\delta}{2}, A_2 \geq a + (i-1)\delta - c \right) - \Pr \left(A_1 \geq a + (i-1)\delta + \frac{\delta}{2}, A_2 \geq a + (i-1)\delta - c \right) \right\}$$



1815-05

Il ressort des Fig. 4 et 5 qu'une bonne approximation de la probabilité conjointe $\Pr\{a < A_1 \leq b, A_2 \leq A_1 - c\}$ est donnée par:

$$\begin{aligned} & \Pr\{a < A_1 \leq b, A_2 \leq A_1 - c\} \\ &= \Pr(A_1 \leq a) - \Pr(A_1 \leq b) \\ & - \sum_{i=1}^n \left\{ \Pr \left(A_1 \geq a + (i-1)\delta - \frac{\delta}{2}, A_2 \geq a + (i-1)\delta - c \right) - \Pr \left(A_1 \geq a + (i-1)\delta + \frac{\delta}{2}, A_2 \geq a + (i-1)\delta - c \right) \right\} \end{aligned}$$

où:

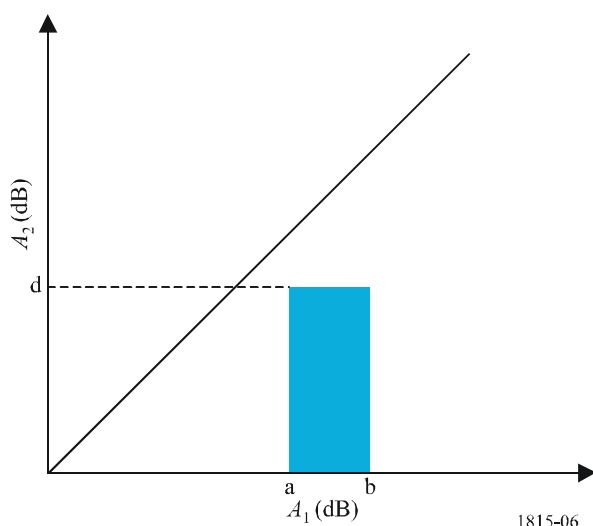
$$\delta = \frac{b-a}{n}$$

et le nombre de points, n , est choisi de façon que l'approximation soit suffisamment précise. Une taille de pas, δ , de 0,01 dB permet généralement d'avoir une précision suffisante.

Cette méthode peut aussi être utilisée pour calculer d'autres probabilités conjointes souhaitées. Par exemple, la probabilité conjointe $\Pr\{a < A_1 \leq b, A_2 \leq d\}$ indiquée dans la région ombrée sur la Fig. 6 est:

$$\Pr\{a < A_1 \leq b, A_2 \leq d\} = \Pr(A_1 \geq a) - \Pr(A_1 \geq b) - [\Pr(A_1 \geq a, A_2 \geq d) - \Pr(A_1 \geq b, A_2 \geq d)]$$

FIGURE 6
 $\Pr\{a < A_1 \leq b, A_2 \leq d\}$



2 Statistiques annuelles de l'affaiblissement différentiel

Si l'on a besoin de statistiques annuelles de l'affaiblissement différentiel, on peut calculer la probabilité $\Pr\{A_1 \geq a, A_2 \geq b\}$ à l'aide de la méthode de prévision décrite dans l'Annexe 2. Pour ce faire, on ajuste les affaiblissements dus à la pluie pour un seul site en fonction des probabilités d'occurrence annuelles $\Pr\{A_1 \geq a\}$ et $\Pr\{A_2 \geq b\}$ à des distributions de probabilité log-normales. On peut prévoir l'affaiblissement dû à la pluie en fonction de la probabilité d'occurrence annuelle en utilisant la méthode décrite au § 2.2.1.1 de la Recommandation UIT-R P.618.

On peut obtenir des statistiques annuelles de l'affaiblissement différentiel en procédant comme suit:

Etape 1: Calculer l'affaiblissement annuel dû à la pluie en fonction de la probabilité d'occurrence en utilisant la méthode de prévision de l'affaiblissement dû à la pluie de l'UIT-R décrite au § 2.2.1.1 de la Recommandation UIT-R P.618;

Etape 2: Appliquer la méthode de prévision de l'affaiblissement différentiel dû à la pluie décrite au § 1 lorsque les probabilités correspondantes $\Pr(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2)$ sont calculées à l'aide de la méthode décrite dans l'Annexe 2.

3 Statistiques de l'affaiblissement différentiel pour le mois le plus défavorable

Si l'on a besoin des statistiques de l'affaiblissement différentiel pour le mois le plus défavorable, on peut utiliser la Recommandation UIT-R P.841 pour convertir les statistiques annuelles de l'affaiblissement dû à la pluie pour un seul site en statistiques de l'affaiblissement dû à la pluie pour le mois le plus défavorable et pour un seul site.

On obtient les statistiques de l'affaiblissement différentiel pour le mois le plus défavorable en procédant comme suit:

Etape 1: Calculer l'affaiblissement annuel dû à la pluie en fonction de la probabilité d'occurrence à l'aide de la méthode de prévision de l'affaiblissement dû à la pluie de l'UIT-R décrite au § 2.2.1.1 de la Recommandation UIT-R P.618.

Etape 2: Convertir les statistiques annuelles de l'affaiblissement dû à la pluie en statistiques de l'affaiblissement dû à la pluie pour le mois le plus défavorable à l'aide de la méthode de l'UIT-R de conversion pour le mois le plus défavorable décrite dans la Recommandation UIT-R P.841.

Etape 3: Appliquer la méthode de prévision d'affaiblissement différentiel dû à la pluie décrite au § 1 lorsque les probabilités correspondantes $\Pr(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2)$ sont calculées à l'aide de la méthode décrite dans l'Annexe 2.

Annexe 2

Description de la méthode de prévision de l'affaiblissement différentiel dû à la pluie

1 Analyse

La méthode de prévision de l'affaiblissement différentiel dû à la pluie suppose une distribution log-normale de l'intensité de pluie et de l'affaiblissement dû à la pluie.

Cette méthode prévoit $\Pr(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2)$, probabilité conjointe (%) que l'affaiblissement sur le trajet jusqu'au premier site soit supérieur à a_1 et que l'affaiblissement sur le trajet jusqu'au second site soit supérieur à a_2 . $\Pr(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2)$ est le produit des deux probabilités conjointes:

P_r : probabilité conjointe qu'il pleuve sur les deux sites, et

P_a : probabilité conjointe et conditionnelle que les affaiblissements dépassent respectivement a_1 et a_2 , dans l'hypothèse où il pleut sur les deux sites; c'est-à-dire:

$$\Pr(A_1 \geq a_1, A_2 \geq a_2) = 100 \times P_r \times P_a \quad \% \quad (1)$$

Ces probabilités sont:

$$P_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho_r^2}} \int_{R_1}^{\infty} \int_{R_2}^{\infty} \exp\left[-\left(\frac{r_1^2 - 2\rho_r r_1 r_2 + r_2^2}{2(1-\rho_r^2)}\right)\right] dr_2 dr_1 \quad (2)$$

où:

$$\rho_r = 0,7 \exp(-d/60) + 0,3 \exp\left[-(d/700)^2\right] \quad (3)$$

et

$$P_a = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho_a^2}} \int_{\frac{\ln a_1 - m_{\ln A_1}}{\sigma_{\ln A_1}}}^{\infty} \int_{\frac{\ln a_2 - m_{\ln A_2}}{\sigma_{\ln A_2}}}^{\infty} \exp\left[-\left(\frac{b_1^2 - 2\rho_a b_1 b_2 + b_2^2}{2(1-\rho_a^2)}\right)\right] db_2 db_1 \quad (4)$$

où:

$$\rho_a = 0,94 \exp(-d/30) + 0,06 \exp\left[-(d/500)^2\right] \quad (5)$$

et P_a et P_r sont des distributions complémentaires normales à deux variables¹.

Le paramètre d est l'espace entre les deux sites (km). Les seuils R_1 et R_2 sont les solutions de:

$$P_k^{rain} = 100 \times Q(R_k) = 100 \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{R_k}^{\infty} \exp\left(-\frac{r^2}{2}\right) dr \quad (6)$$

c'est-à-dire:

$$R_k = Q^{-1}\left(\frac{P_k^{rain}}{100}\right) \quad (7)$$

où:

- R_k : seuil pour le k ème site, respectivement
- P_k^{rain} : probabilité de pluie (%)
- Q : distribution cumulative complémentaire normale
- Q^{-1} : distribution cumulative complémentaire normale inverse
- P_k^{rain} : pour un emplacement particulier, peut être obtenu à partir de l'étape 3 de l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R P.837 en utilisant des données locales ou les cartes des taux des précipitations de l'UIT-R.

On détermine les valeurs des paramètres $m_{\ln A_1}, m_{\ln A_2}, \sigma_{\ln A_1}$, et $\sigma_{\ln A_2}$ en ajustant chaque affaiblissement dû à la pluie pour un seul site, A_i , en fonction de la probabilité d'occurrence, P_i à la distribution log-normale:

$$P_i = P_k^{rain} Q\left(\frac{\ln A_i - m_{\ln A_i}}{\sigma_{\ln A_i}}\right) \quad (8)$$

Ces paramètres peuvent être obtenus pour chaque emplacement ou un seul emplacement peut être utilisé. L'affaiblissement dû à la pluie en fonction de la probabilité d'occurrence annuelle peut être prévu à l'aide de la méthode décrite au § 2.2.1.1 de la Recommandation UIT-R P.618.

Pour chaque site, l'ajustement log-normal de l'affaiblissement dû à la pluie en fonction de la probabilité d'occurrence est effectué comme suit:

Etape 1: Déterminer P_k^{rain} (% de temps), la probabilité de pluie sur le k ème trajet.

Etape 2: Construire l'ensemble de paires $[P_i, A_i]$, où P_i (% de temps) est la probabilité que l'affaiblissement A_i (dB) soit dépassé, avec $P_i \leq P_k^{rain}$. Pour les valeurs spécifiques de P_i , il convient de prendre en considération l'intervalle de probabilités en question; toutefois, l'ensemble de pourcentages de temps suivants est proposé: 0,01%, 0,02%, 0,03%, 0,05%, 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,5%, 1%, 2%, 3%, 5% et 10%, avec la contrainte suivante: $P_i \leq P_k^{rain}$.

¹ On trouvera une approximation de cette intégrale dans: Z. Drezner and G.O. Wesolowsky. «On the Computation of the Bivariate Normal Integral», Journal of Statistical Computation and Simulation. Vol. 35, 1989, p. 101-107. L'outil statistique Matlab contient la fonction intégrée «mvncdf» qui calcule l'intégrale normale à deux variables, et la bibliothèque Python contient la fonction intégrée 'mvndst' qui calcule l'intégrale normale à deux variables.

Etape 3: Transformer l'ensemble de paires $[P_i, A_i]$ en paires $\left[Q^{-1}\left(\frac{P_i}{P_k^{rain}}\right), \ln A_i \right]$,

où:

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

Etape 4: Déterminer les variables $m_{\ln A_i}$ et $\sigma_{\ln A_i}$ en effectuant un ajustement par les moindres

carrés à $\ln A_i = \sigma_{\ln A_i} Q^{-1}\left(\frac{P_i}{P_k^{rain}}\right) + m_{\ln A_i}$ pour toutes les valeurs de i . Pour déterminer l'ajustement par les moindres carrés, on peut utiliser la procédure par étapes d'approximation d'une distribution cumulative complémentaire par une distribution cumulative complémentaire log-normale décrite dans la Recommandation UIT-R P.1057.
