

RECOMMANDATION UIT-R P.1815

Affaiblissement différentiel dû à la pluie

(Question UIT-R 208/3)

(2007)

Domaine de compétence

La présente Recommandation donne des prévisions concernant 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

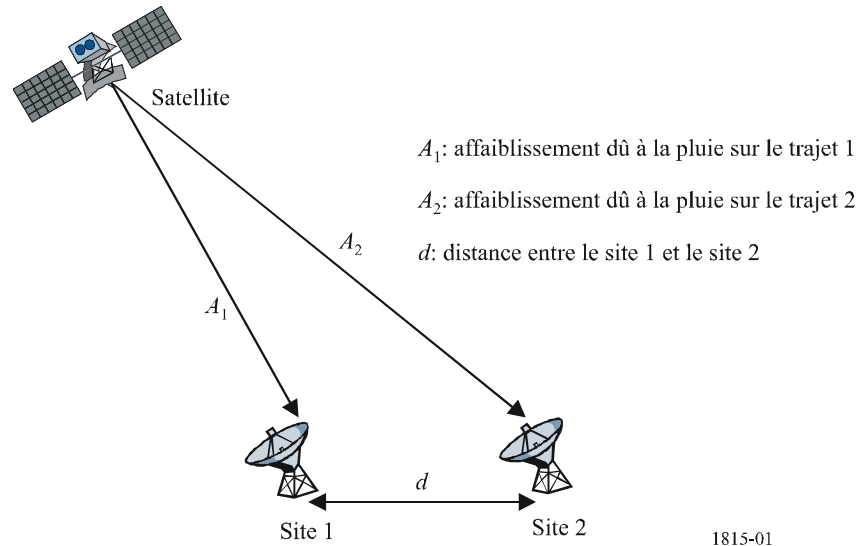
1 d'utiliser les méthodes décrites dans l'Annexe 1 pour prévoir l'affaiblissement différentiel dû à la pluie sur des trajets entre un seul satellite et plusieurs emplacements à la surface de la Terre.

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.

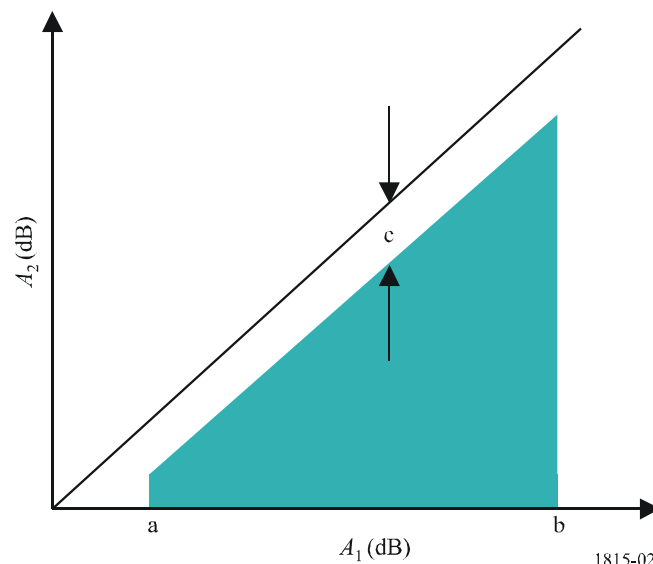
Cette méthode tient compte des caractéristiques statistiques et temporelles relatives aux dimensions des cellules de pluie, de l'intensité des précipitations ainsi que du mouvement des cellules de pluie qui se rapportent à l'affaiblissement différentiel dû à la pluie.

FIGURE 1
Géométrie de l'affaiblissement différentiel



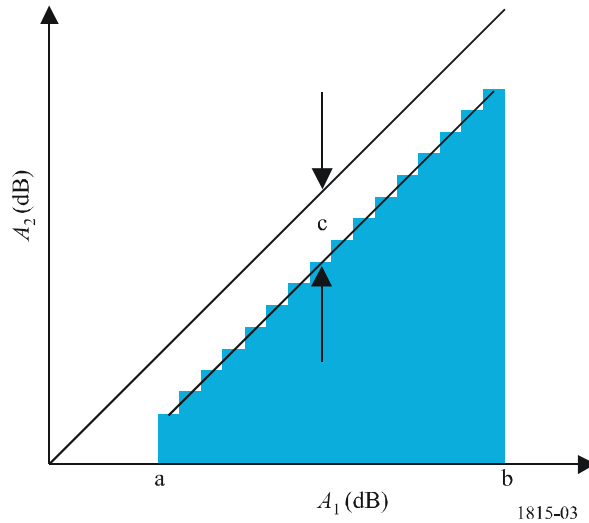
La géométrie est illustrée sur la Fig. 1 dans laquelle A_1 et A_2 sont respectivement l'affaiblissement dû à la pluie sur le trajet 1 et sur le trajet 2. La statistique souhaitée est la probabilité conjointe pour que l'affaiblissement sur le premier trajet, A_1 , se situe entre a et b et que l'affaiblissement 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.

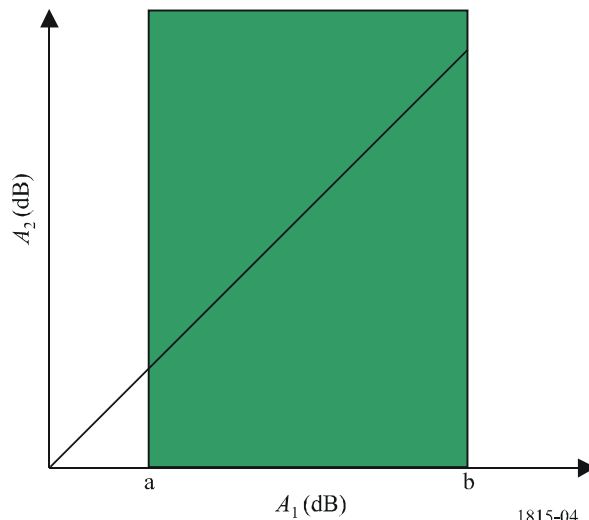
FIGURE 3
Approximation de la distribution de probabilité conjointe souhaitée



1815-03

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.

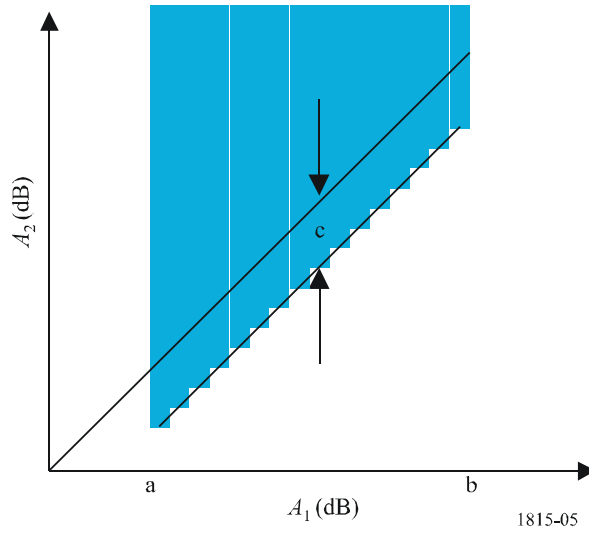
FIGURE 4
 $\Pr(A_1 \geq a) - \Pr(A_1 \geq b)$



1815-04

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 :

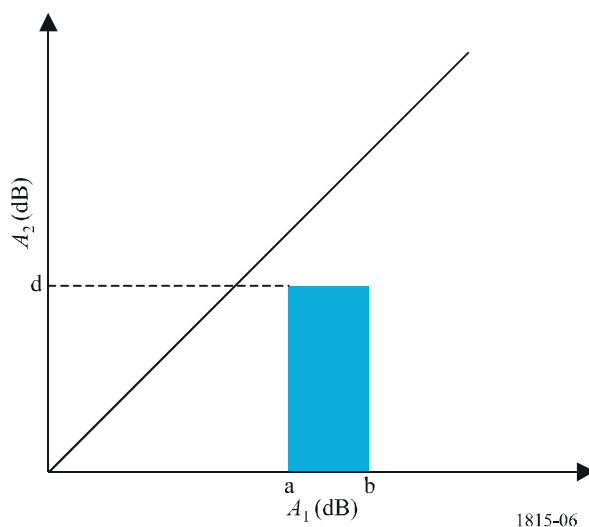
$$\delta = \frac{b-a}{n}$$

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 établit des distributions de probabilité log-normales par ajustement aux valeurs de l'affaiblissement dû à la pluie pour un seul site exprimées en fonction des probabilités d'occurrence annuelles $\Pr\{A_1 \geq a\}$ et $\Pr\{A_2 \geq b\}$. On peut prévoir l'affaiblissement dû à la pluie exprimé 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 (%) pour 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:

- 1 P_r , probabilité conjointe pour qu'il pleuve sur les deux sites, et
- 2 P_a , probabilité conjointe et conditionnelle pour 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:

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

où:

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

et

$$P_a = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho_a^2}} \int_{\frac{\ln a_1 - m_{\ln A_1}}{\sigma_{\ln A_1}}}^{\infty} \int_{\frac{\ln a_2 - m_{\ln A_2}}{\sigma_{\ln A_2}}}^{\infty} \exp\left[-\left(\frac{a_1^2 - 2\rho_a a_1 a_2 + a_2^2}{2(1-\rho_a^2)}\right)\right] da_1 da_2 \quad (4)$$

où:

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

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

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

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

c'est-à-dire:

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

où R_k est le seuil pour le k ième site, respectivement, P_k^{pluie} est la probabilité de pluie (%), Q est la distribution cumulative complémentaire normale et Q^{-1} est la distribution cumulative complémentaire normale inverse. On obtient P_k^{pluie} pour un emplacement particulier 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 établissant la distribution log-normale par ajustement à chaque valeur de l'affaiblissement dû à la pluie pour un seul site, A_i , exprimée en fonction de la probabilité d'occurrence, P_i :

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

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

Pour chaque site, la distribution log-normale est établie par ajustement aux valeurs de l'affaiblissement dû à la pluie exprimées en fonction de la probabilité d'occurrence, comme suit:

Etape 1: Construire l'ensemble de paires $[P_i, A_i]$ où P_i (% de temps) est la probabilité pour que l'affaiblissement A_i (dB) soit dépassé.

Etape 2: Convertir l'ensemble de paires en $\left[Q^{-1}\left(P_i / P_k^{pluie}\right), \ln A_i\right]$.

Etape 3: Déterminer les variables $m_{\ln A_i}$ et $\sigma_{\ln A_i}$ en effectuant un ajustement par les moindres carrés à $\ln A_i = \sigma_{\ln A_i} Q^{-1}\left(P_i / P_k^{pluie}\right) + m_{\ln A_i}$ pour toutes les valeurs de i .

(Voir la Recommandation UIT-R P.1057 pour une description détaillée.)

On trouvera sur le site web de l'UIT-R consacré à la Commission d'études 3 de radiocommunications un exemple de mise en œuvre de cette méthode de prévision à MATLAB ainsi que la référence à une approximation de la distribution complémentaire normale à deux variables.