

Union internationale des télécommunications

**UIT-R**

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R P.1853**  
(10/2009)

**Synthèse de séries temporelles relatives à  
l'affaiblissement troposphérique**

**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
<b>BO</b>	Diffusion par satellite
<b>BR</b>	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
<b>BS</b>	Service de radiodiffusion sonore
<b>BT</b>	Service de radiodiffusion télévisuelle
<b>F</b>	Service fixe
<b>M</b>	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
<b>P</b>	<b>Propagation des ondes radioélectriques</b>
<b>RA</b>	Radio astronomie
<b>RS</b>	Systèmes de télédétection
<b>S</b>	Service fixe par satellite
<b>SA</b>	Applications spatiales et météorologie
<b>SF</b>	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
<b>SM</b>	Gestion du spectre
<b>SNG</b>	Reportage d'actualités par satellite
<b>TF</b>	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
<b>V</b>	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.1853

**Synthèse de séries temporelles relatives à l'affaiblissement troposphérique**

(2009)

**Champ d'application**

La présente Recommandation décrit des méthodes de synthèse pour l'affaiblissement dû à la pluie et la scintillation sur les trajets de Terre et sur les trajets Terre vers espace.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que, pour planifier correctement les systèmes de Terre et les systèmes Terre vers espace, il est nécessaire de disposer de méthodes appropriées pour simuler la dynamique temporelle du canal de propagation;
- b) que des méthodes ont été élaborées pour simuler la dynamique temporelle du canal de propagation de façon suffisamment précise,

*recommande*

- 1 d'utiliser la méthode donnée à l'Annexe 1 pour synthétiser les séries temporelles relatives à l'affaiblissement dû à la pluie sur les trajets de Terre et sur les trajets Terre vers espace;
- 2 d'utiliser la méthode donnée à l'Annexe 1 pour synthétiser les séries temporelles relatives à la scintillation sur les trajets de Terre et sur les trajets Terre vers espace;

**Annexe 1****1 Introduction**

Pour planifier et concevoir des systèmes de radiocommunication de Terre et Terre vers espace, il faut pouvoir synthétiser la dynamique temporelle du canal de propagation. Ces informations peuvent par exemple être nécessaires pour concevoir diverses techniques de réduction des effets des évanouissements (codage et modulation adaptatifs, contrôle de la puissance d'émission, etc.).

La méthodologie décrite dans la présente Annexe permet de synthétiser des séries temporelles relatives à l'affaiblissement dû à la pluie et à la scintillation sur les trajets de Terre et sur les trajets Terre vers espace qui constituent des approximations des statistiques d'affaiblissement dû à la pluie à un emplacement donné.

## 2 Méthode de synthèse de série temporelle relative à l'affaiblissement dû à la pluie

### 2.1 Vue d'ensemble

Dans la méthode de synthèse de série temporelle, on suppose que les statistiques à long terme de l'affaiblissement dû à la pluie suivent une distribution log-normale. Les méthodes UIT-R de prévision de l'affaiblissement dû à la pluie décrites dans la Recommandation UIT-R P.530 pour les trajets de Terre et dans la Recommandation UIT-R P.618 pour les trajets Terre vers espace ne donnent pas exactement une distribution log-normale, mais celle-ci constitue une bonne approximation sur l'intervalle le plus significatif des probabilités de dépassement. Les méthodes de prévision de l'affaiblissement dû à la pluie sur les trajets de Terre et sur les trajets Terre vers espace prévoient un affaiblissement dû à la pluie différent de zéro lorsque les probabilités de dépassement sont supérieures à la probabilité de pluie; toutefois, la méthode de synthèse de série temporelle ajuste la série temporelle relative à l'affaiblissement de sorte que l'affaiblissement dû à la pluie correspondant aux probabilités de dépassement supérieures à la probabilité de pluie soit de 0 dB.

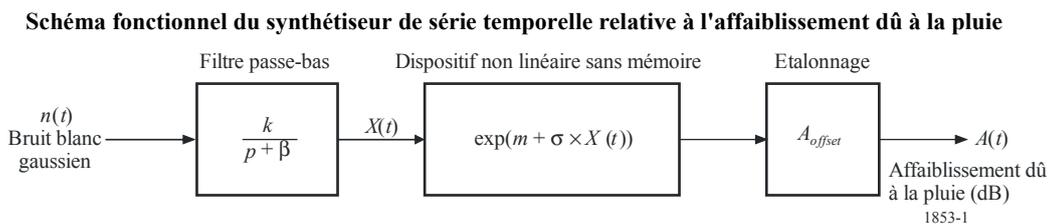
Pour les trajets de Terre, la méthode de synthèse de série temporelle est valable pour les fréquences comprises entre 4 GHz et 40 GHz et pour les longueurs de trajet comprises entre 2 km et 60 km.

Pour les trajets Terre vers espace, la méthode de synthèse de série temporelle est valable pour les fréquences comprises entre 4 GHz et 55 GHz et pour les angles d'élévation compris entre 5° et 90°.

La méthode de synthèse de série temporelle génère une série temporelle qui reproduit les caractéristiques spectrales et les statistiques de pente des évanouissements et de durée des évanouissements des événements d'affaiblissement dû à la pluie. Les statistiques d'intervalle entre évanouissements sont également reproduites mais uniquement pour chaque événement d'affaiblissement individuel.

Comme indiqué sur la Fig. 1, la série temporelle relative à l'affaiblissement dû à la pluie  $A(t)$  est synthétisée à partir du bruit blanc gaussien discret  $n(t)$ . Le bruit blanc gaussien passe dans un filtre passe-bas, puis dans un dispositif non linéaire sans mémoire où sa distribution normale est transformée en distribution log-normale, avant d'être étalonné pour correspondre aux statistiques voulues d'affaiblissement dû à la pluie.

FIGURE 1



Le synthétiseur de série temporelle est défini par cinq paramètres:

- $m$ : moyenne de la distribution log-normale de l'affaiblissement dû à la pluie
- $\sigma$ : écart type de la distribution log-normale de l'affaiblissement dû à la pluie
- $p$ : probabilité de pluie
- $\beta$ : paramètre décrivant la dynamique temporelle
- $A_{offset}$ : décalage permettant d'ajuster la série temporelle pour qu'elle corresponde à la probabilité de pluie.

## 2.2 Méthode par étapes

La méthode par étapes suivante est utilisée pour synthétiser la série temporelle relative à l'affaiblissement  $A_{rain}(kT_s)$ ,  $k = 1, 2, 3, \dots$ , où  $T_s$  est l'intervalle de temps entre les échantillons et  $k$  est l'indice de chaque échantillon.

### A Estimation de $m$ et de $\sigma$

Les paramètres  $m$  et  $\sigma$  sont déterminés à partir de la distribution cumulative de l'affaiblissement dû à la pluie en fonction de la probabilité d'occurrence. On peut déterminer les statistiques d'affaiblissement dû à la pluie à partir de données de mesure locales, ou, en l'absence de données de mesure, on peut utiliser les méthodes de prévision de l'affaiblissement dû à la pluie décrites dans la Recommandation UIT-R P.530 pour les trajets de Terre et dans la Recommandation UIT-R P.618 pour les trajets Terre vers espace.

Pour le trajet et la fréquence considérés, effectuer un ajustement log-normal de l'affaiblissement dû à la pluie en fonction de la probabilité d'occurrence comme suit:

*Etape A1:* Déterminer  $P^{rain}$  (% de temps), la probabilité de pluie sur le trajet.  $P_0(Lat, Lon)$  calculé dans la Recommandation UIT-R P.837 constitue une bonne approximation de  $P^{rain}$ .

*Etape A2:* 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  $P_i \leq P^{rain}$ . 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:  $P_i \leq P^{rain}$ .

*Etape A3:* Transformer l'ensemble de paires  $[P_i, A_i]$  en paires  $[Q^{-1}(P_i), \ln A_i]$ ,

où:

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

*Etape A4:* Déterminer les variables  $m_{\ln A_i}$  et  $\sigma_{\ln A_i}$  en effectuant un ajustement par les moindres carrés à  $\ln A_i = \sigma_{\ln A_i} Q^{-1}(P_i) + m_{\ln A_i}$  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.

### B Paramètre du filtre passe-bas

*Etape B1:* Paramètre  $\beta = 2 \times 10^{-4}$  (s<sup>-1</sup>).

### C Décalage de l'affaiblissement

*Etape C1:* Le décalage de l'affaiblissement,  $A_{offset}$  (dB), est calculé comme suit:

$$A_{offset} = e^{m + \sigma Q^{-1}\left(\frac{P^{rain}}{100}\right)} \quad (2)$$

### D Synthèse de la série temporelle

La série temporelle  $A_{rain}(kT_s)$ ,  $k = 1, 2, 3, \dots$  est synthétisée comme suit:

*Etape D1:* Synthétiser une série temporelle relative au bruit blanc gaussien  $n(kT_s)$ , où  $k = 1, 2, 3, \dots$  de moyenne nulle et de variance unitaire avec une période d'échantillonnage  $T_s$  de 1 s.

Etape D2: Poser  $X(0) = 0$

Etape D3: Filtrer la série temporelle relative au bruit  $n(kT_s)$  à l'aide d'un filtre passe-bas récursif défini par:

$$X(kT_s) = \rho \times X((k-1)T_s) + \sqrt{1-\rho^2} \times n(kT_s) \quad \text{pour } k = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

où:

$$\rho = e^{-\beta T_s} \quad (4)$$

Etape D4: Calculer  $Y_{rain}(kT_s)$ , pour  $k = 1, 2, 3, \dots$  comme suit:

$$Y_{rain}(kT_s) = e^{m + \sigma X(kT_s)} \quad (5)$$

Etape D5: Calculer  $A_{rain}(kT_s)$  (dB), pour  $k = 1, 2, 3, \dots$  comme suit:

$$A_{rain}(kT_s) = \text{Maximum}[Y(kT_s) - A_{offset}, 0] \quad (6)$$

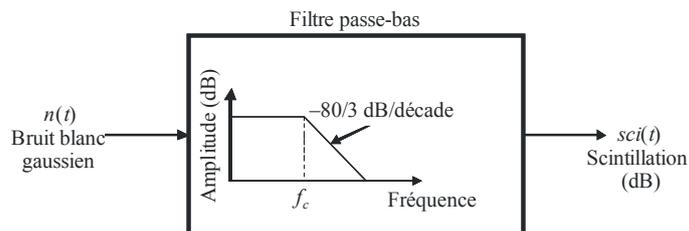
Etape D6: Eliminer les 200 000 premiers échantillons de la série temporelle synthétisée (correspondant à la réponse transitoire du filtre). Les événements d'affaiblissement dû à la pluie sont représentés par des séquences dont les valeurs sont supérieures à 0 dB pour plusieurs échantillons consécutifs.

### 3 Méthode de synthèse de série temporelle relative à la scintillation

Comme indiqué sur la Fig. 2, une série temporelle relative à la scintillation  $sci(t)$  peut être générée en filtrant un bruit blanc gaussien  $n(t)$  de sorte que l'asymptote du spectre de puissance de la série temporelle filtrée ait une décroissance en  $f^{-8/3}$  et une fréquence de coupure  $f_c$  de 0,1 Hz. Il est à noter que l'écart type relatif à la scintillation augmente à mesure que l'affaiblissement dû à la pluie augmente.

FIGURE 2

Schéma fonctionnel du synthétiseur de série temporelle relative à la scintillation



1853-2