

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R P.1853-1
(02/2012)

**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 œuvre 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	Radioastronomie
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, 2013

© UIT 2013

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.1853-1

Synthèse de séries temporelles relatives à l'affaiblissement troposphérique

(2009-2011)

Domaine 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 ainsi que pour l'affaiblissement total et la scintillation troposphérique 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;
- 3** d'utiliser la méthode donnée à l'Annexe 1 pour synthétiser les séries temporelles relatives à l'affaiblissement troposphérique total et à la scintillation troposphérique 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 et des séries temporelles relatives à l'affaiblissement total et à la scintillation troposphérique 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.

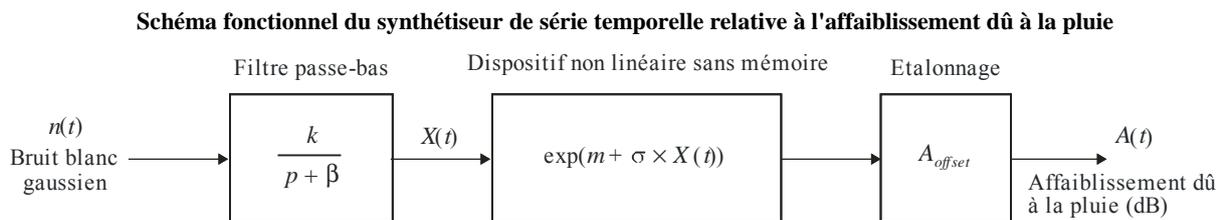
Pour les trajets de Terre, la méthode de synthèse de série temporelle est valable pour les fréquences comprises entre 4 GHz et 40 GHz et pour les longueurs de trajet comprises entre 2 km et 60 km.

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



P.1853-01

Le synthétiseur de série temporelle est défini par cinq paramètres:

- m : moyenne de la distribution log-normale de l'affaiblissement dû à la pluie
- σ : écart type de la distribution log-normale de l'affaiblissement dû à la pluie
- p : probabilité de pluie
- β : paramètre décrivant la dynamique temporelle (s^{-1})
- A_{offset} : décalage permettant d'ajuster la série temporelle pour qu'elle corresponde à la probabilité de pluie (dB).

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 σ

Les paramètres m et σ 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 $\left[Q^{-1}\left(\frac{P_i}{100}\right), \ln A_i \right]$,

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 $\ln A_i = \sigma_{\ln A_i} Q^{-1}\left(\frac{P_i}{100}\right) + m_{\ln A_i}$ 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.

B Paramètre du filtre passe-bas

Etape B1: Paramètre $\beta = 2 \times 10^{-4}$ (s⁻¹).

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:

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

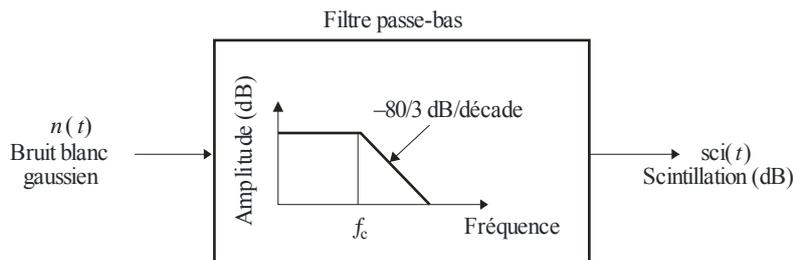
Etape D6: Eliminer les 200 000 premiers échantillons de la série temporelle synthétisée (correspondant à la réponse transitoire du filtre). Les événements d'affaiblissement dû à la pluie sont représentés par des séquences dont les valeurs sont supérieures à 0 dB pour plusieurs échantillons consécutifs.

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



4 Méthode de synthèse de série temporelle relative au contenu intégré en eau liquide des nuages

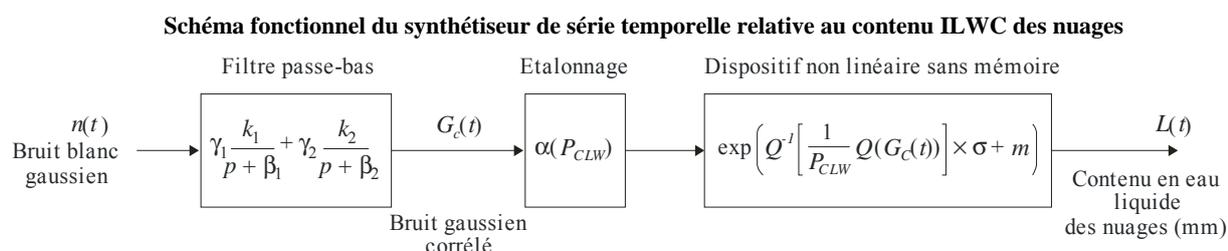
4.1 Vue d'ensemble

Comme proposé dans la Recommandation UIT-R P.840, la méthode de synthèse de série temporelle utilise une distribution log-normale pour l'approximation des statistiques du contenu intégré en eau liquide (ILWC, *integrated liquid water content*) à long terme.

La méthode de synthèse de série temporelle génère une série temporelle qui reproduit les caractéristiques spectrales et les statistiques de vitesse de variation et de durée des événements de contenu liquide des nuages.

Comme indiqué sur la Fig. 3, la série temporelle relative au contenu liquide $L(t)$ est synthétisée à partir du bruit blanc gaussien $n(t)$. Le bruit blanc gaussien passe dans un filtre passe-bas, est tronqué pour correspondre à la probabilité de nuages souhaitée, puis passe dans un dispositif non linéaire sans mémoire où sa distribution normale tronquée est transformée en distribution log-normale conditionnée.

FIGURE 3



P.1853-03

Le synthétiseur de série temporelle est défini par huit paramètres:

- m : moyenne de la distribution log-normale de l'affaiblissement dû à la pluie
- σ : écart type de la distribution log-normale de l'affaiblissement dû à la pluie
- P_{CLW} : probabilité de nuages
- α : seuil de troncature du bruit gaussien corrélé
- β_1 : paramètre décrivant la dynamique temporelle de la composante rapide du bruit (s^{-1})
- β_2 : paramètre décrivant la dynamique temporelle de la composante lente du bruit (s^{-1})
- γ_1 : paramètre décrivant le poids de la composante rapide du bruit
- γ_2 : paramètre décrivant le poids de la composante lente du bruit.

4.2 Méthode par étapes

La méthode par étapes suivante est utilisée pour synthétiser la série temporelle relative au contenu en eau liquide des nuages $L(kT_s)$, $k = 1, 2, 3, \dots$, où T_s est l'intervalle de temps entre les échantillons et k est l'indice de chaque échantillon.

A Estimation de m , de σ et de P_{CLW}

Les paramètres de moyenne m , d'écart type σ et de probabilité d'eau liquide P_{CLW} de la distribution log-normale sont disponibles sous la forme de cartes dans la Recommandation UIT-R P.840.

Pour l'emplacement considéré, déterminer les paramètres log-normaux conditionnels comme suit:

Etape A1: 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 sur les cartes numériques fournies dans la Recommandation UIT-R P.840.

Etape A2: Déterminer la valeur des paramètres m, σ et P_{CLW} à l'emplacement souhaité en effectuant une interpolation bilinéaire des quatre valeurs de chaque paramètre aux quatre points de la grille comme décrit dans la Recommandation UIT-R P.1144.

B Paramètres du filtre passe-bas

Etape B1: Paramètre $\beta_1 = 7,17 \times 10^{-4} \text{ (s}^{-1}\text{)}$.

Etape B2: Paramètre $\beta_2 = 2,01 \times 10^{-5} \text{ (s}^{-1}\text{)}$.

Etape B3: Paramètre $\gamma_1 = 0,349$.

Etape B4: Paramètre $\gamma_2 = 0,830$.

C Seuil de troncature

Etape C1: Le seuil de troncature α est calculé comme suit:

$$\alpha = Q^{-1}(P_{CLW}) \quad (7)$$

où la fonction Q est définie au § 2.2.A et décrite dans la Recommandation UIT-R P.1057.

D Synthèse de la série temporelle

La série temporelle $L(kT_s)$, $k = 1, 2, 3, \dots$ 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 $X_1(0) = 0; X_2(0) = 0$

Etape D3: Filtrer la série temporelle relative au bruit $n(kT_s)$ à l'aide de deux filtres passe-bas récursifs définis par:

$$\begin{cases} X_1(kT_s) = \rho_1 \times X_1((k-1)T_s) + \sqrt{1-\rho_1^2} \times n(kT_s) \\ X_2(kT_s) = \rho_2 \times X_2((k-1)T_s) + \sqrt{1-\rho_2^2} \times n(kT_s) \end{cases} \quad \text{pour } k = 1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

$$\text{où: } \begin{cases} \rho_1 = e^{-\beta_1 T_s} \\ \rho_2 = e^{-\beta_2 T_s} \end{cases} \quad (9)$$

Etape D4: Calculer $G_c(kT_s)$, pour $k = 1, 2, 3, \dots$ comme suit:

$$G_c(kT_s) = \gamma_1 \times X_1(kT_s) + \gamma_2 \times X_2(kT_s) \quad (10)$$

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

$$L(kT_s) = \begin{cases} \exp\left(Q^{-1}\left[\frac{1}{P_{CLW}} Q(G_C(kT_s))\right] \times \sigma + m\right) & \text{pour } G_C(kT_s) > \alpha \\ 0 & \text{pour } G_C(kT_s) \leq \alpha \end{cases} \quad (11)$$

Etape D6: Eliminer les 500 000 premiers échantillons de la série temporelle synthétisée (correspondant à la réponse transitoire du filtre). Les événements de nuage sont représentés par des séquences dont les valeurs sont supérieures à 0 mm pour plusieurs échantillons consécutifs.

5 Méthode de synthèse de série temporelle relative au contenu intégré en vapeur d'eau

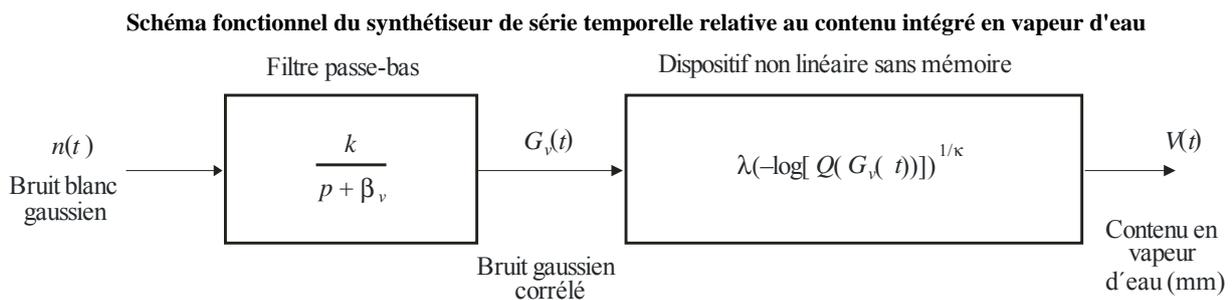
5.1 Vue d'ensemble

Dans la méthode de synthèse de série temporelle, on suppose que les statistiques à long terme du contenu intégré en vapeur d'eau (IWVC, *integrated water vapour content*) suivent une distribution de Weibull. Les distributions du contenu IWVC prédites dans la Recommandation UIT-R P.836 ne correspondent pas exactement à une distribution de Weibull, mais celle-ci constitue une bonne approximation sur l'intervalle le plus significatif des probabilités de dépassement.

La méthode de synthèse de série temporelle génère une série temporelle qui reproduit les caractéristiques spectrales et la distribution du contenu en vapeur d'eau.

Comme indiqué sur la Fig. 4, la série temporelle relative au contenu en vapeur d'eau $V(t)$ 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 de Weibull.

FIGURE 4



P.1853-04

Le synthétiseur de série temporelle est défini par trois paramètres:

- κ : paramètre de la distribution de Weibull du contenu IWVC
- λ : paramètre de la distribution de Weibull du contenu IWVC
- β_v : paramètre décrivant la dynamique temporelle (s^{-1}).

5.2 Méthode par étapes

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

A Estimation de κ et de λ

Les paramètres κ et λ sont déterminés à partir de la distribution cumulative du contenu IWVC en fonction de la probabilité d'occurrence. On peut déterminer les statistiques du contenu IWVC à partir de données de mesure locales, ou, en l'absence de données de mesure, on peut utiliser les méthodes de prévision du contenu IWVC décrites dans la Recommandation UIT-R P.836.

Pour l'emplacement considéré, effectuer un ajustement de Weibull du contenu IWVC en fonction de la probabilité d'occurrence comme suit:

Etape A1: Construire l'ensemble de paires $[P_i, V_i]$, où P_i (% de temps) est la probabilité que le contenu IWVC V_i (mm) soit dépassé. 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: 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30 et 50%.

Etape A2: Transformer l'ensemble de paires $[P_i, V_i]$ en paires $[\ln(-\ln P_i), \ln V_i]$.

Etape A3: Déterminer les variables intermédiaires a et b en effectuant un ajustement par les moindres carrés à la fonction linéaire:

$$\ln(-\ln P_i) = a \ln V_i + b \quad (12)$$

comme suit:

$$\left\{ \begin{array}{l} a = \frac{n \sum_{i=1}^n \ln V_i \ln(-\ln P_i) - \sum_{i=1}^n \ln V_i \sum_{i=1}^n \ln(-\ln P_i)}{n \sum_{i=1}^n [\ln V_i]^2 - \left[\sum_{i=1}^n \ln V_i \right]^2} \\ b = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(-\ln P_i) - a \sum_{i=1}^n \ln V_i}{n} \end{array} \right. \quad (13)$$

Etape A4: Déterminer les paramètres κ et λ comme suit:

$$\left\{ \begin{array}{l} \kappa = a \\ \lambda = \exp\left(-\frac{b}{a}\right) \end{array} \right. \quad (14)$$

B Paramètre du filtre passe-bas

Etape B1: Paramètre $\beta_V = 3,24 \times 10^{-6}$ (s⁻¹).

C Synthèse de la série temporelle

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

Etape C1: 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 C2: Poser $G_V(0) = 0$

Etape C3: Filtrer la série temporelle relative au bruit $n(kT_s)$ à l'aide d'un filtre passe-bas récursif défini par:

$$G_V(kT_s) = \rho \times G_V((k-1)T_s) + \sqrt{1-\rho^2} \times n(kT_s) \quad \text{pour } k = 1, 2, 3, \dots \quad (15)$$

où:
$$\rho = e^{-\beta_V T_s} \quad (16)$$

Etape C4: Calculer $V(kT_s)$, pour $k = 1, 2, 3, \dots$ comme suit:

$$V(kT_s) = \lambda(-\log[Q(G_V(kT_s))])^{1/\kappa} \quad (17)$$

où la fonction Q est définie au § 2.2.A et décrite dans la Recommandation UIT-R P.1057.

Etape C5: Eliminer les 5 000 000 premiers échantillons de la série temporelle synthétisée (correspondant à la réponse transitoire du filtre).

6 Méthode de synthèse de séries temporelles relatives à l'affaiblissement total et à la scintillation sur les trajets Terre vers espace

6.1 Vue d'ensemble

Les séries temporelles relatives à l'affaiblissement total et à la scintillation sont générées selon le schéma illustré sur la Fig. 5, à l'aide des méthodes décrites dans les paragraphes ci-dessus. Une corrélation appropriée a été introduite entre les nuages et la pluie. Ce coefficient de corrélation, ainsi que le fait que la probabilité d'avoir des nuages sur la liaison est supérieure à la probabilité d'avoir de la pluie, garantit la prise en compte systématique des nuages pendant les événements de pluie.

Le contenu en eau liquide des nuages est interpolé si les deux critères suivants sont vérifiés simultanément:

- un événement de pluie est généré (l'affaiblissement dû à la pluie synthétisé est supérieur à 0 dB);
- le contenu ILWC dépasse le seuil de 1 mm.

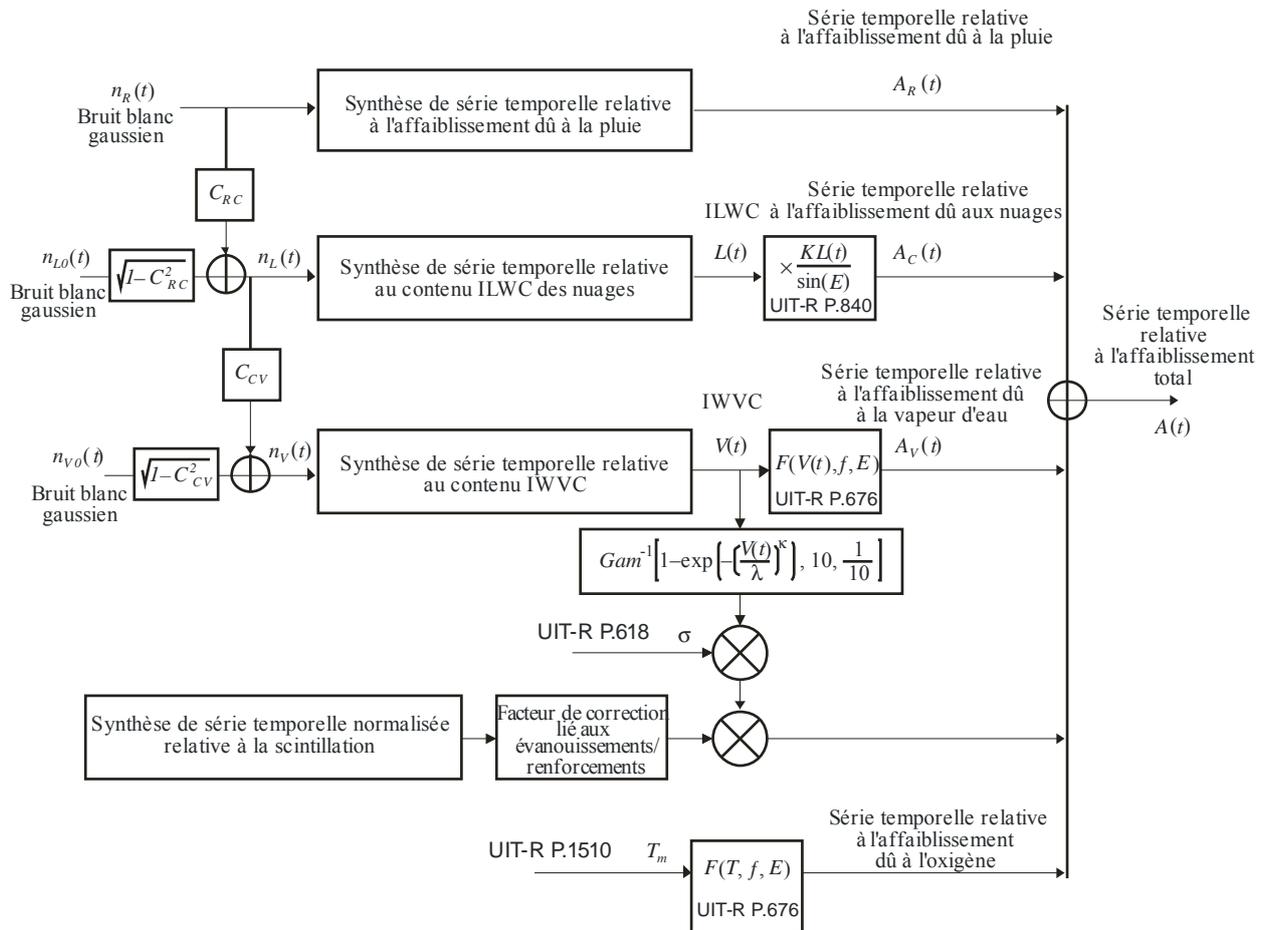
En raison de la valeur très faible du paramètre dynamique pour la composante IWVC, les 5.10^6 premiers échantillons doivent être éliminés des séries temporelles synthétisées pour tous les effets considérés (correspondant à la réponse transitoire du filtre pour le contenu IWVC).

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 des angles d'élévation compris entre 5° et 90°. Dans certains cas (par exemple basses fréquences, élévations modérées à élevées, zones tempérées), l'affaiblissement dû à la pluie pourra constituer une approximation suffisamment précise de l'affaiblissement total.

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 total. Les statistiques d'intervalle entre évanouissements sont également reproduites mais uniquement pour chaque événement d'affaiblissement individuel.

FIGURE 5

Schéma fonctionnel du synthétiseur de séries temporelles relatives à l'affaiblissement total et à la scintillation



P.1853-05

6.2 Méthode par étapes

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

A Coefficients de corrélation

Etape A1: Paramètre $C_{RC} = 1$.

Etape A2: Paramètre $C_{CV} = 0,8$.

B Polynômes relatifs à la scintillation

Etape B1: Définir les polynômes relatifs aux évanouissements et aux renforcements dus à la scintillation comme suit:

$$\begin{aligned} a_{\text{Fade}}(P) &= -0,061 \times (\log_{10}(P))^3 + 0,072 \times (\log_{10}(P))^2 - 1,71 \times \log_{10}(P) + 3,0 \\ a_{\text{Enhanc}}(P) &= -0,0597 \times (\log_{10}(P))^3 - 0,0835 \times (\log_{10}(P))^2 - 1,258 \times \log_{10}(P) + 2,672 \end{aligned} \quad (18)$$

C Synthèse de la série temporelle

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

Etape C1: Synthétiser une série temporelle relative au bruit blanc gaussien $n_R(kT_s)$, où $k = 1, 2, 3, \dots$ de moyenne nulle et de variance unitaire avec une période d'échantillonnage T_s de 1 s.

Etape C2: Synthétiser une série temporelle relative au bruit blanc gaussien $n_{L0}(kT_s)$, où $k = 1, 2, 3, \dots$ de moyenne nulle et de variance unitaire avec une période d'échantillonnage T_s de 1 s.

Etape C3: Synthétiser une série temporelle relative au bruit blanc gaussien $n_{V0}(kT_s)$, où $k = 1, 2, 3, \dots$ de moyenne nulle et de variance unitaire avec une période d'échantillonnage T_s de 1 s.

Etape C4: Synthétiser une série temporelle relative au bruit blanc gaussien $n_L(kT_s)$, où $k = 1, 2, 3, \dots$ comme suit:

$$n_L(kT_s) = C_{RC} \times n_R(kT_s) + \sqrt{1 - C_{RC}^2} \times n_{L0}(kT_s) \quad (19)$$

Etape C5: Synthétiser une série temporelle relative au bruit blanc gaussien $n_V(kT_s)$, où $k = 1, 2, 3, \dots$ comme suit:

$$n_V(kT_s) = C_{CV} \times n_L(kT_s) + \sqrt{1 - C_{CV}^2} \times n_{V0}(kT_s) \quad (20)$$

Etape C6: Calculer la série temporelle relative à l'affaiblissement dû à la pluie $A(kT_s)$ à partir de la série temporelle relative au bruit gaussien $n_R(kT_s)$, en suivant la procédure recommandée au § 2 de la présente Recommandation, et remplacer l'étape D6 du § 2 par ce qui suit: éliminer les 5 000 000 premiers échantillons de la série temporelle synthétisée.

Etape C7: Calculer la série temporelle relative au contenu intégré en eau liquide des nuages $L(kT_s)$ à partir de la série temporelle relative au bruit gaussien $n_L(kT_s)$, en suivant la procédure recommandée au § 4 de la présente Recommandation, et remplacer l'étape D6 du § 4 par ce qui suit: éliminer les 5 000 000 premiers échantillons de la série temporelle synthétisée.

Etape C8: Convertir la série temporelle relative au contenu intégré en eau liquide des nuages $L(kT_s)$ en série temporelle relative à l'affaiblissement dû aux nuages $A_C(kT_s)$ en suivant la méthode recommandée dans la Recommandation UIT-R P.840.

Etape C9: Identifier les horodates $k_1T_s, k_2T_s, k_3T_s, \dots$ pour lesquelles les deux conditions suivantes sont vérifiées simultanément:

$$\begin{aligned} 1 - A_R(kT_s) &> 0 \\ 2 - L(kT_s) &> 1 \end{aligned} \quad (21)$$

Etape C10: Eliminer les valeurs calculées de $A_C(kT_s)$ correspondant aux horodates $k_1T_s, k_2T_s, k_3T_s, \dots$ identifiées à l'*Etape C8* et calculer à la place les valeurs d'interpolation linéaire en fonction du temps à partir des valeurs d'affaiblissement dû aux nuages non éliminées.

Etape C11: Calculer la série temporelle relative au contenu intégré en vapeur d'eau $V(kT_s)$ à partir de la série temporelle relative au bruit gaussien $n_V(kT_s)$, en suivant la procédure recommandée au § 5 de la présente Recommandation.

Etape C12: Convertir la série temporelle relative au contenu intégré en vapeur d'eau $V(kT_s)$ en série temporelle relative à l'affaiblissement dû à la vapeur d'eau $A_V(kT_s)$ en suivant la méthode d'évaluation approchée de l'affaiblissement dû à la vapeur d'eau sur un trajet oblique recommandée dans la Recommandation UIT-R P.676 (§ 2.3 de l'Annexe 2).

Etape C13: Calculer la température moyenne annuelle T_m pour l'emplacement considéré en utilisant des valeurs expérimentales si de telles valeurs sont disponibles. Dans le cas contraire, on peut utiliser la méthode fournie dans la Recommandation UIT-R P.1510 pour prédire T_m .

Etape C14: Convertir la température moyenne annuelle T_m en affaiblissement moyen annuel dû à l'oxygène A_O en suivant la méthode recommandée dans la Recommandation UIT-R P.676.

Etape C15: Synthétiser la série temporelle de variance unitaire relative à la scintillation $Sci_0(kT_s)$ en suivant la méthode recommandée au § 3 de la présente Recommandation.

Etape C16: Calculer la série temporelle relative au coefficient de correction $C_x(kT_s)$ afin de faire la distinction entre évanouissements et renforcements dus à la scintillation:

$$C_x(kT_s) = \begin{cases} \frac{a_{Fade} (100 \times Q[Sci_0(K.Ts)])}{a_{Enhanc} (100 \times Q[Sci_0(K.Ts)])} & \text{pour } Sci_0(K.Ts) > 0 \\ 1 & \text{pour } Sci_0(K.Ts) \leq 0 \end{cases} \quad (22)$$

où la fonction Q est définie au § 2.2.A et décrite dans la Recommandation UIT-R P.1057.

Etape C17: Transformer la série temporelle relative au contenu intégré en vapeur d'eau $V(kT_s)$ en série temporelle à distribution Gamma $Z(kT_s)$ comme suit:

$$Z(kT_s) = Gam^{-1} \left[1 - \exp \left(- \left(\frac{V(kT_s)}{\lambda} \right)^\kappa \right), 10, \frac{1}{10} \right] \quad (23)$$

où κ et λ sont les paramètres de la distribution de Weibull du contenu intégré en vapeur d'eau, et la fonction Gam est la fonction de distribution complémentaire Gamma décrite dans la Recommandation UIT-R P.1057 et définie comme suit:

$$Gam(x, k, \vartheta) = \int_x^\infty \frac{x^{k-1} \exp(-x/\vartheta)}{\Gamma(k)\vartheta^k} dt \quad (24)$$

Etape C18: Calculer l'écart type relatif à la scintillation σ en suivant la méthode recommandée dans la Recommandation UIT-R P.618.

Etape C19: Calculer la série temporelle relative à la scintillation $Sci(kT_s)$ comme suit:

$$Sci(kT_s) = \begin{cases} \sigma \times Sci_0(kT_s) \times C_x(kTs) \times Z(kT_s) \times [A_R(kT_s)]_{12}^{\frac{5}{12}} & \text{pour } A_R(kT_s) > 1 \\ \sigma \times Sci_0(kT_s) \times C_x(kTs) \times Z(kT_s) & \text{pour } A_R(kT_s) \leq 1 \end{cases} \quad (25)$$

Etape C20: Calculer la série temporelle relative à l'affaiblissement troposphérique total $A(kT_s)$ comme suit:

$$A(kT_s) = A_R(kT_s) + A_C(kT_s) + A_V(kT_s) + A_O + Sci(kT_s) \quad (26)$$
