Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R P.2108-1

(09/2021)

Prévision de l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles

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 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

(Également 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	Émissions 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, 2022

© UIT 2022

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.2108-1

Prévision de l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles

(2017-2021)

Domaine d'application

La présente Recommandation décrit des méthodes permettant d'estimer l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles aux fréquences comprises entre 30 MHz et 100 GHz.

Mots clés

Groupe d'obstacles, affaiblissement, effet d'écran, de Terre, Terre vers espace, aéronautique

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

a) que, pour la planification des systèmes et l'évaluation des brouillages, il peut être nécessaire de tenir compte de l'affaiblissement que subissent les ondes radioélectriques lorsqu'elles se propagent au-dessus ou entre des bâtiments;

b) que, lorsqu'une station de Terre est occultée par des bâtiments, il peut être difficile d'effectuer un calcul détaillé pour un cas général et il faut tenir compte des affaiblissements dus à des groupes d'obstacles en fonction du scénario de déploiement;

c) que, lorsque des stations de Terre sont en mouvement, l'environnement de groupes d'obstacles du trajet radioélectrique sera variable,

reconnaissant

a) que la Recommandation UIT-R P.1411 contient des données et des modèles concernant les systèmes de radiocommunication à courte portée, essentiellement dans un environnement urbain dans les gammes de fréquences comprises entre 300 MHz et 100 GHz;

b) que la Recommandation UIT-R P.2040 contient les formules de base pour la réflexion sur les matériaux de construction et la pénétration par ces matériaux, ainsi qu'une représentation harmonisée des propriétés électriques des matériaux de construction au-dessus de 100 MHz environ;

c) que la Recommandation UIT-R P.452 contient une méthode de prévision permettant d'évaluer les brouillages entre des stations situées à la surface de la Terre aux fréquences comprises entre environ 0,1 GHz et 50 GHz, compte tenu des mécanismes de brouillage par temps clair ou dus à la diffusion par les hydrométéores;

d) que la Recommandation UIT-R P.1812 décrit une méthode de prévision de la propagation adaptée aux services de Terre point à zone dans la gamme de fréquences comprise entre 30 MHz et 6 000 MHz;

e) que la Recommandation UIT-R P.833 présente plusieurs modèles qui permettent à l'utilisateur d'évaluer les effets de la végétation sur les signaux radioélectriques entre 30 MHz et 60 GHz;

f) que la Recommandation UIT-R P.2109 contient un modèle statistique relatif à l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments pour les fréquences comprises entre environ 80 MHz et 100 GHz,

recommande

d'utiliser les éléments d'information figurant dans l'Annexe 1 pour estimer l'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles.

Annexe 1

Modèle d'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles Description de la méthode de calcul

1 Introduction

La présente Recommandation décrit un ensemble de modèles pouvant être utilisés pour estimer l'affaiblissement dû à un groupe d'obstacles pour divers environnements différents. Ces modèles peuvent être utilisés pour la correction de l'affaiblissement à l'extrémité pour les modèles de propagation sur de longues ou au-dessus du niveau des toits.

La présente Recommandation définit des catégories d'environnements de groupes d'obstacles et décrit des méthodes permettant d'estimer l'affaiblissement sur le trajet entre le dessus d'un toit et un terminal à l'intérieur du groupe d'obstacles.

Des modèles statistiques doivent être utilisés lorsque l'on ne connaît pas avec précision le trajet radioélectrique, par exemple la largeur des rues, la hauteur des bâtiments et la profondeur de la végétation.

1.1 Définitions d'un groupe d'obstacles et de l'affaiblissement dû à un groupe d'obstacles

Un «groupe d'obstacles» est décrit ici dans le contexte des Recommandations UIT-R de la série P.

On entend par groupes d'obstacles des objets, par exemple des bâtiments ou de la végétation, qui se trouvent à la surface de la Terre, mais qui ne constituent pas à proprement parler le terrain. Un groupe d'obstacles qui se trouve autour d'un terminal radioélectrique d'émission/de réception peut avoir d'importantes conséquences sur la propagation dans son ensemble. C'est généralement le groupe d'obstacles le plus proche du terminal qui a le plus d'incidences sur la propagation, mais la distance effective dépendra de la nature du groupe d'obstacles et des paramètres radioélectriques.

Les modèles d'affaiblissement dû à des groupes d'obstacles décrits dans la présente Recommandation sont par nature statistiques. Dans le cas de la correction de l'affaiblissement à l'extrémité pour un modèle de propagation sur de longs trajets, «l'affaiblissement dû à un groupe d'obstacles» est défini comme la différence entre l'affaiblissement de transmission ou l'affaiblissement de transmission de référence[1], avec et sans la présence d'obstacles autour du terminal à chaque extrémité du trajet, toutes les autres caractéristiques du trajet restant inchangées. Les modèles de propagation sur des trajets de courte distance tiennent compte des effets du groupe d'obstacles sur toute la longueur du trajet.

[1] Les définitions de «l'affaiblissement de transmission» et de «l'affaiblissement de transmission de référence» sont données dans la Recommandation UIT-R P.341.

2 Choix du modèle

Le modèle qui convient doit être choisi en fonction de la fréquence, de l'environnement autour du terminal et du type de trajet. On trouvera un résumé des modèles dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

Résumé des modèles

Environnement du terminal	Réf.	Gamme de fréquences (GHz)	Description
Terminal situé au-dessous de la hauteur représentative de l'obstacle	§ 3.1	0,03-3	Correction de l'affaiblissement à l'extrémité à ajouter à l'affaiblissement de transmission de référence calculé vers/depuis la hauteur représentative de l'obstacle utilisée. Peut être utilisée à la fois à l'extrémité d'émission et à l'extrémité de réception du trajet.
Terminal de Terre située à l'intérieur du groupe d'obstacles	§ 3.2	0,5-67	Modèle statistique pouvant être utilisé pour la modélisation de la distribution de l'affaiblissement dû à un groupe d'obstacles pour les environnements urbains et suburbains. Cette correction peut être appliquée aux deux extrémités du trajet.
Un terminal est situé à l'intérieur du groupe d'obstacles et l'autre est un satellite, un aéronef ou une autre plate-forme au-dessus de la surface de la Terre	§ 3.3	10-100	Distribution statistique de l'affaiblissement dû à un groupe d'obstacles qui n'est pas dépassé pour un pourcentage d'emplacements pour des angles d'élévation compris entre 0 et 90 degrés.

3 Modèles d'affaiblissement dû à un groupe d'obstacles

Un certain nombre de méthodes sont décrites dans les paragraphes qui suivent. On trouvera dans chaque paragraphe une description du modèle et l'utilisation qu'il convient d'en faire, les paramètres d'entrée requis et une méthode de calcul.

3.1 Modèle de correction de la hauteur en fonction du gain du terminal

Cette méthode donne la valeur médiane des affaiblissements dus à différents environnements de terminaux. Au nombre des mécanismes possibles on peut citer l'affaiblissement dû à l'obstruction et les réflexions dues à des obstacles ayant la même hauteur représentative, ainsi que la diffusion et la réflexion sur le sol et des obstacles plus petits. Lorsqu'on utilise une mise en œuvre informatique, avec un profil de terrain provenant d'un modèle de terrain numérique et avec un environnement de terminal défini par une catégorie d'obstacles, il n'est pas réaliste d'identifier un à un les différents mécanismes. La méthode utilisée en l'occurrence fait la distinction entre deux cas généraux: pour les catégories zones boisées et les zones urbaines, on part de l'hypothèse que le mécanisme dominant est la diffraction au-dessus des obstacles. Pour les autres catégories, on admet que la réflexion ou la diffusion est le mécanisme dominant.

On calcule un affaiblissement additionnel, A_h, qui peut être ajouté à l'affaiblissement de transmission de référence d'un trajet calculé au-dessus du groupe d'obstacles, de sorte que l'affaiblissement de transmission de référence devrait être calculé vers/depuis la hauteur représentative du groupe d'obstacles utilisée. Ce modèle peut être utilisé aux extrémités d'émission et de réception du trajet.

Gamme de fréquences: 0,03 à 3 GHz

3.1.1 Paramètres d'entrée

Les paramètres d'entrée sont donnés dans le Tableau 2.

TABLEAU 2

Paramètres d'entrée du modèle de correction de la hauteur en fonction du gain du terminal

Paramètre d'entrée	Symbole	Valeur par défaut
Fréquence (GHz)	f	–
Hauteur d'antenne (m)	h	–
Largeur de la rue (m)	w_s	27
Hauteur représentative du groupe d'obstacles (m)	R	Voir le Tableau 3
Type de groupe d'obstacles	–	–

On utilise le type de groupe d'obstacles pour déterminer la méthode de calcul de A_h indiquée dans le Tableau 3.

TABLEAU 3

Informations par défaut pour la hauteur représentative du groupe d'obstacles, R (lorsqu'on ne dispose pas de données locales)

Type de groupe d'obstacles	R (m)	Méthode de calcul A_h
Eau/mer	10	Équation (2b)
Zone dégagée/rurale	10	Équation (2b)
Zone suburbaine	10	Équation (2a)
Zone urbaine/boisée/forêt	15	Équation (2a)
Zone urbaine dense	20	Équation (2a)

3.1.2 Description du modèle

La méthode utilise une approximation de l'affaiblissement dû à la diffraction pour une seule arête en lame de couteau en fonction du paramètre sans dimension, ν, donné par:

$$J(\nu) = 6{,}9 + 20\log\left(\sqrt{(\nu - 0{,}1)^2 + 1} + \nu - 0{,}1\right) \quad (1)$$

Il est à noter que $J(-0{,}78) \approx 0$, et que cela définit la limite inférieure à laquelle cette approximation devra être utilisée. $J(\nu)$ est égal à zéro pour $\nu \leq -0{,}78$.

Lorsque l'antenne de la station d'émission ou de réception est située au-dessous de la hauteur R représentative de la couverture au sol autour de l'émetteur ou du récepteur, on calcule des estimations de l'affaiblissement supplémentaire, A_h, comme suit. Lorsqu'elles sont disponibles, il convient

d'utiliser les hauteurs représentatives des groupes d'obstacles fondées sur les informations précises relatives à la hauteur des obstacles. Si tel n'est pas le cas, il convient d'utiliser les informations données dans le Tableau 3. La méthode de modélisation des affaiblissements au niveau de l'émetteur et du récepteur est identique.

Si $h \geq R$ alors $A_h = 0$

Si $h < R$ alors A_h peut avoir l'une des deux formes suivantes, en fonction du type de groupe d'obstacles (voir le Tableau 3):

$$A_h = J(v) - 6{,}03 \quad \text{dB} \tag{2a}$$

ou:

$$A_h = -K_{h2} \log(h/R) \quad \text{dB} \tag{2b}$$

$J(\nu)$ est calculé à l'aide de l'équation (1).

Les valeurs ν et K_{h2} sont données par:

$$\nu = K_{nu} \sqrt{h_{dif}\ \theta_{clut}} \tag{2c}$$

$$h_{dif} = R - h \ \text{m} \tag{2d}$$

$$\theta_{clut} = \arctan\left(\frac{h_{dif}}{w_s}\right) \text{ degrés} \tag{2e}$$

$$K_{h2} = 21{,}8 + 6{,}2 \log(f) \tag{2f}$$

$$K_{nu} = 0{,}342\sqrt{f} \tag{2g}$$

où:

f: fréquence (GHz)

w_s: se rapporte à la largeur de la rue (mètres). Il devrait être pris égal à 27 sauf si des données locales précises sont disponibles.

La forme de l'équation (2a) représente l'affaiblissement de Fresnel dû à la diffraction au-dessus d'un obstacle et s'appliquerait à des catégories de groupes d'obstacles comme les bâtiments. Le fouillis urbain, en particulier, relèverait de cette catégorie.

L'équation (2b) représente la fonction du gain en fonction de la hauteur due à la proximité du sol dans des emplacements plus dégagés. La réflexion spéculaire du sol est caractéristique de variations du signal au-dessous du premier maximum de brouillage causé par deux rayons. Lorsqu'il n'y a pas de réflexion spéculaire, les variations en dessous de R sont caractéristiques de celles dues à l'effet d'écran imputable à de petits objets ou à des irrégularités du terrain.

3.2 Modèle statistique de l'affaiblissement dû à un groupe d'obstacles pour des trajets de Terre

On trouvera dans le présent paragraphe des équations qui permettent d'obtenir une distribution statistique de l'affaiblissement dû à un groupe d'obstacles. Le modèle peut être utilisé pour la modélisation de l'affaiblissement dû à un groupe d'obstacles dans les environnements urbains et suburbains, à condition que les hauteurs terminales soient bien inférieures à la hauteur du groupe d'obstacles, comme indiqué dans le Tableau 1. Il est à noter que les mesures utilisées pour développer ce modèle ont porté sur des hauteurs terminales allant jusqu'à 6 mètres au-dessus du sol.

On calcule un affaiblissement additionnel, L_{ctt}, qui peut être ajouté à l'affaiblissement de transmission ou à l'affaiblissement de transmission de référence. L'affaiblissement dû à un groupe d'obstacles varie en fonction du type de groupe d'obstacles, de l'emplacement à l'intérieur du groupe d'obstacles et du mouvement dans le groupe d'obstacles. Si l'affaiblissement de transmission ou l'affaiblissement de transmission de référence a été calculé à l'aide d'un modèle (par exemple celui de la Recommandation UIT-R P.1411) qui tient compte par nature du groupes d'obstacles sur la totalité du trajet, la méthode décrite ci-dessous ne devrait alors pas être appliquée.

Gamme de fréquences: 0,5 à 67 GHz

Longueur minimale du trajet: 0,25 km (lorsque la correction doit être appliquée uniquement à une extrémité du trajet)

1,0 km (lorsque la correction doit être appliquée aux deux extrémités du trajet)

Gamme de pourcentages d'emplacements: $0 < p < 100$

3.2.1 Paramètre d'entrée

Les paramètres d'entrée sont donnés dans le Tableau 4.

TABLEAU 4

Modèle statistique d'affaiblissement dû à un groupe d'obstacles pour les paramètres d'entrée de trajets de Terre

Paramètre d'entrée	Symbole	Unité
Fréquence	f	GHz
Distance	d	km
Pourcentage d'emplacements	p	%

3.2.2 Description du modèle

L'affaiblissement dû à un groupe d'obstacles qui n'est pas dépassé pour p% d'emplacements pour le trajet de Terre-à-Terre, L_{ctt}, est limité par l'équation (6) et est donné par la formule:

$$L_{ctt} = -5\log(10^{-0,2L_l} + 10^{-0,2L_s}) - \sigma_{cb} Q^{-1}(p/100) \text{ dB} \quad (3a)$$

$$\sigma_{cb} = \sqrt{(\sigma_l{}^2 10^{-0,2L_l} + \sigma_s{}^2 10^{-0,2L_s})/(10^{-0,2L_l} + 10^{-0,2L_s})} \quad \text{dB} \quad (3b)$$

où $Q^{-1}(p/100)$ est la fonction de distribution normale complémentaire inverse, et

$$L_l = -2\log\left(10^{-5\log(f)-12,5} + 10^{-16,5}\right) \quad \text{dB} \quad (4a)$$

$$\sigma_l = 4 \quad \text{dB} \quad (4b)$$

$$L_s = 32,98 + 23,9\log(d) + 3\log(f) \text{ dB} \quad (5a)$$

$$\sigma_s = 6 \quad \text{dB} \quad (5b)$$

où d est la longueur totale du trajet.

L'affaiblissement dû à un groupe d'obstacles ne doit pas dépasser une valeur maximale donnée par la formule:

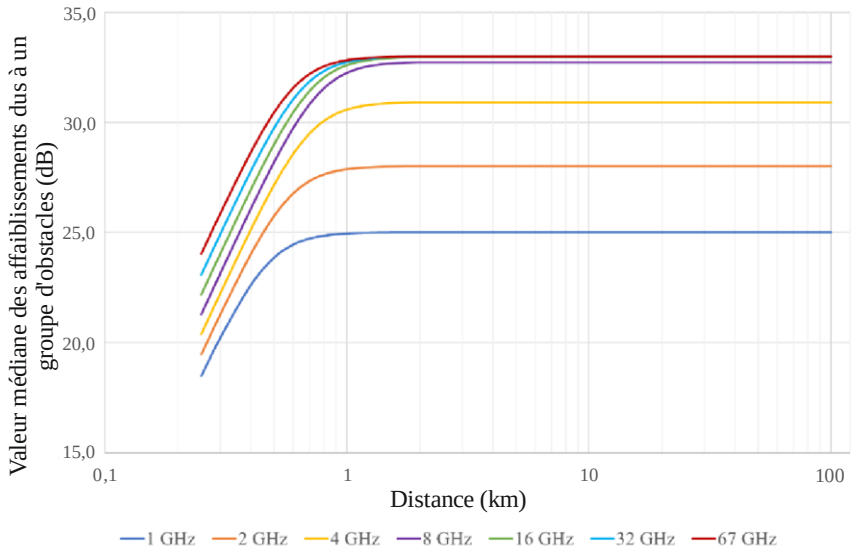
$$L_{ctt_{Max}} = L_{ctt_{2km}} \quad \text{dB} \quad (6)$$

où $L_{ctt_{2km}}$ est l'affaiblissement dû à un groupe d'obstacles calculé pour $d = 2\ km$.

La Figure 1 indique la valeur médiane des affaiblissements dus à un groupe d'obstacles pour différentes fréquences, calculée au moyen de la formule (3).

FIGURE 1

Valeur médiane des affaiblissements dus à un groupe d'obstacles pour des trajets de Terre



P.2108-01

3.3 Modèle statistique d'affaiblissement dû à un groupe d'obstacles pour un trajet Terre-espace et pour les services aéronautiques

On trouvera dans le présent paragraphe des formules permettant de calculer la distribution statistique de l'affaiblissement dû à un groupe d'obstacles, dans le cas où une extrémité du trajet du brouillage se situe à l'intérieur du groupe d'obstacles artificiel, et où l'autre est un satellite, un aéronef ou une autre plate-forme située au-dessus de la surface de la Terre.

On calcule un affaiblissement additionnel, L_{ces}, qui peut être ajouté à l'affaiblissement de transmission de référence d'un trajet calculé.

Ce modèle est applicable aux environnements urbains et suburbains. La méthode utilisée pour concevoir ce modèle est décrite dans le Rapport UIT-R P.2402-0.

Gamme de fréquences: 10 à 100 GHz

Gamme d'angles d'élévation: 0 à 90 degrés

Fourchette de pourcentages d'emplacements: $0 < p < 100$

3.3.1 Paramètres d'entrée

Les paramètres d'entrée sont donnés dans le Tableau 5.

TABLEAU 5

Paramètres d'entrée du modèle d'affaiblissement dû à un groupe d'obstacles pour un trajet Terre vers espace

Paramètre d'entrée	Symbole	Unité
Fréquence	f	GHz
Distance	θ	Degrés
Pourcentage d'emplacements	p	%

3.3.2 Description du modèle

L'affaiblissement dû à un groupe d'obstacles qui n'est pas dépassé pour p% d'emplacements pour le trajet de Terre vers une plate-forme aéroportée ou un satellite est donné par la formule:

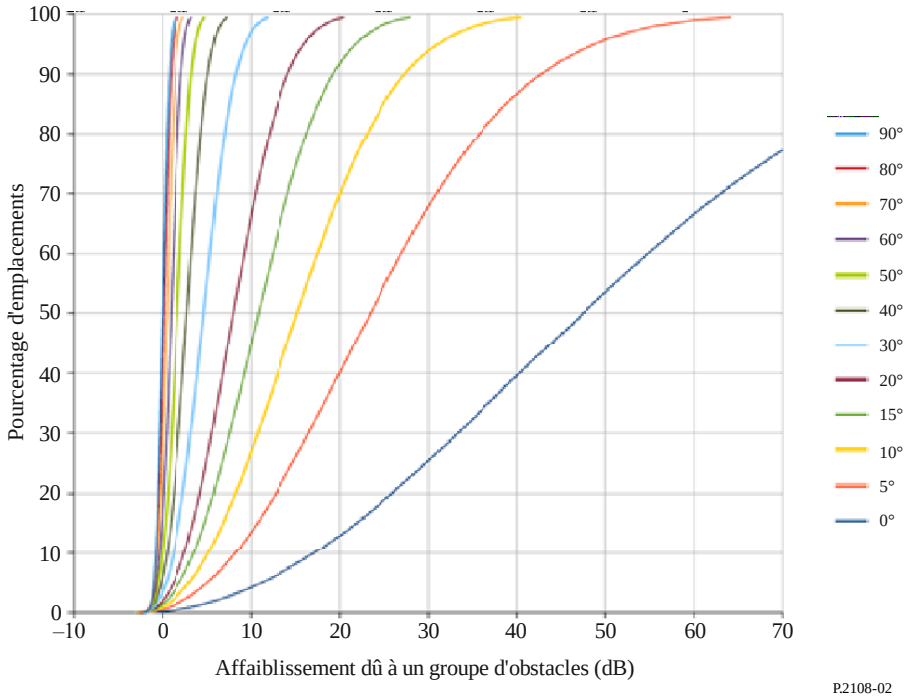
$$L_{ces} = \left\{-K_1 \left[\ln\left(1-\frac{p}{100}\right)\right] \cot\left[A_1\left(1-\frac{\theta}{90}\right)+\frac{\pi\theta}{180}\right]\right\}^{[0,5(90-\theta)/90]} - 1 - 0{,}6\, Q^{-1}(p/100) \text{ dB} \quad (7)$$

pour

$$K_1 = 93(f^{0,175}),\ A_1 = 0{,}05$$

où $Q^{-1}(p/100)$ est la fonction de distribution normale complémentaire inverse, et l'angle d'élévation θ, est l'angle de la plate-forme aéroportée ou du satellite vu depuis le terminal.

La Figure 2 indique la distribution cumulative des courbes de l'affaiblissement dû à un groupe obstacles qui n'est pas dépassé pour un pourcentage d'emplacements pour des angles d'élévation variables à 30 GHz.

FIGURE 2

Distribution cumulative de l'affaiblissement dû à un groupe obstacles qui n'est pas dépassé à 30 GHz