

RECOMMANDATION UIT-R S.1324

MÉTHODE ANALYTIQUE D'ESTIMATION DU BROUILLAGE ENTRE LES LIAISONS DE CONNEXION DES RÉSEAUX DU SERVICE MOBILE PAR SATELLITES NON GÉOSTATIONNAIRES ET LES RÉSEAUX DU SERVICE FIXE PAR SATELLITES GÉOSTATIONNAIRES EXPLOITÉS DANS LES MÊMES BANDES DE FRÉQUENCES ET DANS LE MÊME SENS

(Question UIT-R 206/4)

(1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la Conférence mondiale des radiocommunications (Genève, 1995) (CMR-95) a conclu à l'urgence d'élaborer des critères permettant de déterminer la nécessité de procéder à une coordination ainsi que des méthodes de calcul pour établir les niveaux de brouillage et les indispensables rapports de protection entre réseaux du service mobile par satellites (SMS);
- b) que la CMR-95 a attribué les bandes de fréquences 19,3-19,6 GHz et 29,1-29,4 GHz aux liaisons de connexion des réseaux à satellites non géostationnaires du SMS (SMS non OSG) transmettant dans le même sens que des systèmes OSG du service fixe par satellite (SFS) (SFS OSG);
- c) que la CMR-95 a déterminé dans sa Résolution 121 la nécessité d'entreprendre d'urgence des études destinées à élaborer des méthodes de coordination pour le cas où les réseaux du SFS OSG et les liaisons de connexion des réseaux du SMS non OSG sont exploités dans les mêmes bandes 19,3-19,6 GHz et 29,1-29,4 GHz sur une base d'égalité;
- d) qu'il peut être nécessaire, en général, d'élaborer une méthode pouvant servir à estimer le brouillage entre des réseaux à satellites;
- e) que l'estimation du brouillage mutuel entre les liaisons de connexion du SMS non OSG et des systèmes du SFS OSG devrait se fonder sur les niveaux de puissance de brouillage à ne pas dépasser pendant un temps donné, sur la fréquence d'apparition et sur la durée de phénomènes uniques,

reconnaissant

- a) que, pour estimer le brouillage entre les liaisons de connexion du SMS non OSG et les systèmes du SFS OSG, l'utilisation de techniques informatiques de simulation garantit une précision élevée des résultats obtenus, mais risque d'exiger un temps d'exécution considérable et de ne pas être toujours possible;
- b) qu'il est possible d'estimer le brouillage entre les liaisons de connexion SMS non OSG et les systèmes du SFS OSG en utilisant le pourcentage de temps pendant lequel un satellite non OSG reste dans une zone à l'intérieur d'un certain angle de discrimination formé par rapport à un satellite OSG et la station terrienne concernée;
- c) que le pourcentage de temps pour une valeur donnée d'un angle compris entre un satellite OSG et un satellite non OSG par rapport à la station terrienne concernée peut être défini à l'aide soit de simulations, soit de la méthode analytique décrite dans la Recommandation UIT-R S.1257, ou encore d'autres méthodes,

recommande

- 1 d'utiliser éventuellement la méthode exposée dans l'Annexe 1 pour estimer le brouillage entre les liaisons de connexion du SMS non OSG et les systèmes du SFS OSG exploités dans les mêmes bandes de fréquences et dans le même sens de transmission.

ANNEXE 1

Description de la méthode analytique permettant d'estimer le brouillage entre les liaisons de connexion du SMS non OSG et les réseaux du SFS OSG exploités dans les mêmes bandes de fréquences et dans le même sens

Pour estimer le brouillage entre les liaisons de connexion du SMS non OSG et les systèmes du SFS OSG il existe un critère selon lequel:

- la densité spectrale de la puissance de brouillage, I_0 , émise par les liaisons de connexion d'un réseau du SMS non OSG (sur la liaison montante depuis la station terrienne et sur la liaison descendante depuis le satellite, elle résulte des émissions des liaisons de connexion à destination et en provenance de tous les satellites d'une constellation) à l'entrée du récepteur d'une station terrienne du SFS OSG ne doit pas dépasser une certaine fraction, x , de la densité spectrale de puissance de bruit thermique, N_0 , du récepteur pendant un pourcentage de temps, % t , donné.

Un exemple des critères utilisés pour estimer le brouillage causé par les liaisons de connexion SMS non OSG aux récepteurs SFS OSG, rappelés dans le Tableau 1, est présenté dans l'Appendice 1.

TABLEAU 1

	11-14 GHz	
	I_0	t (%)
1	$0,06 N_0$	0,87
2	$0,26 N_0$	0,119
3	N_0	0,029
4	$2,16 N_0$	0,0004

La présente méthode fournit une estimation du pourcentage de temps, % t , fondée sur une densité spectrale de la puissance de brouillage, I_0 , acceptable, sans qu'il soit besoin de recourir à des méthodes de simulation.

Aux fins d'estimation du brouillage entre les liaisons de connexion des réseaux SMS non OSG et les systèmes du SFS OSG, il est procédé à l'analyse des quatre cas suivants de possibilité de brouillage entre les stations terriennes et spatiales des réseaux considérés:

- Cas 1:* émissions de stations terriennes de liaisons de connexion du SMS non OSG brouillant des stations spatiales de réception du SFS OSG (voir la Fig. 1).
- Cas 2:* émissions de stations spatiales de liaisons de connexion du SMS non OSG brouillant des stations terriennes de réception du SFS OSG (voir la Fig. 2).
- Cas 3:* émissions de stations terriennes du SFS OSG brouillant des stations spatiales de réception de liaisons de connexion du SMS non OSG (voir la Fig. 3).
- Cas 4:* émissions de stations spatiales du SFS OSG brouillant des stations terriennes de réception de liaisons de connexion du SMS non OSG (voir la Fig. 4).

Il est possible de calculer la densité spectrale de la puissance de brouillage à l'entrée du récepteur au moyen des expressions suivantes:

pour la «liaison montante»:

$$I_0 = P1i + G1i(Q) - Lu + G2w(b) \quad \text{dB(W/Hz)} \quad (1)$$

pour la «liaison descendante»:

$$I_0 = P3i + G3i(b) - Ld + G4w(Q) \quad \text{dB(W/Hz)} \quad (2)$$

où:

- $P1i$: densité spectrale de puissance d'émission de la station terrienne brouilleuse (dB(W/Hz))
- $P3i$: densité spectrale de puissance d'émission de la station spatiale brouilleuse (dB(W/Hz))
- $G1i(Q)$: gain d'antenne de la station terrienne brouilleuse dans la direction de la station spatiale utile (dB)
- $G2w(b)$: gain d'antenne de la station spatiale utile dans la direction de la station spatiale brouilleuse (dB)
- $G3i(b)$: gain d'antenne de la station spatiale brouilleuse dans la direction de la station terrienne utile (dB)
- $G4w(Q)$: gain d'antenne de la station terrienne utile dans la direction de la station spatiale brouilleuse (dB)
- Lu : affaiblissement le long du trajet entre la station terrienne brouilleuse et le satellite utile (dB)
- Ld : affaiblissement le long du trajet entre le satellite brouilleur et la station terrienne utile (dB).

Cette méthode consiste à déterminer un espace que délimite une surface conique circulaire d'un angle égal à $2Q$ (voir les Fig. 1 à 4). Le sommet du cône correspond à l'emplacement de la station terrienne soit brouilleuse, soit brouillée et l'axe du cône est toujours dirigé vers le satellite OSG.

Pour les cas de brouillage 1 et 4, la densité spectrale de puissance de brouillage d'un récepteur ne varie qu'en fonction de l'angle Q qui change selon la position du satellite non OSG.

Pour les cas de brouillage 2 et 3, la densité spectrale de la puissance de brouillage, I_0 , d'un récepteur varie en fonction de l'angle Q , de la distance R et de l'angle b ; l'analyse de ces variations montre qu'un petit accroissement de l'angle Q se traduit par une forte baisse de I_0 , tandis que de petits changements de la distance R et de l'angle b n'entraînent pour ainsi dire aucune modification. Les variations de $G2w(b)$, $G3i(b)$, Lu , Ld , qui sont fonction de la distance R et de l'angle b , sont donc insignifiantes.

Etant donné cette constatation, il est judicieux de supposer que $G2w(b)$, $G3i(b)$, Lu et Ld sont constantes, d'où leur valeur non significative dans les estimations de brouillage. En ce qui concerne les cas de brouillage 2 et 3, les variations de la densité spectrale de la puissance de brouillage reçue sont donc principalement fonction de l'angle Q .

Le pourcentage de temps, % t , pendant lequel un satellite non OSG se trouve à l'intérieur du cône $2Q$, est une fonction de l'angle de séparation Q dont il faut tenir compte. Etant donné les caractéristiques des réseaux à satellites concernés, chaque valeur de l'angle Q correspond à une certaine valeur de I_0 à l'entrée du récepteur.

Pour estimer le brouillage sur la liaison montante, on utilise le diagramme de rayonnement de l'antenne de la station terrienne brouilleuse, alors que pour estimer le brouillage sur la liaison descendante, c'est le gain d'antenne de la station terrienne utile qui est employé.

Etape 1: on calcule par dérivation un niveau acceptable de densité spectrale de la puissance de brouillage pour une station terrienne donnée en utilisant l'expression suivante:

$$I_0 = 10 \log x + 10 \log(k T) \quad \text{dB(W/Hz)} \quad (3)$$

où:

- x : fraction de la densité spectrale de la puissance de bruit thermique du récepteur à l'intérieur d'un critère de pourcentage de temps, % t , donné du Tableau 1
- k : constante de Boltzmann (J/K)
- T : température de bruit de la station de réception des réseaux utiles (K).

Etape 2: à l'aide des expressions (1) ou (2) (selon qu'il s'agit d'une liaison montante ou descendante) et du diagramme de rayonnement de l'antenne de la station terrienne, on calcule une valeur de l'angle Q , correspondant à un niveau acceptable de la densité spectrale de la puissance de brouillage, I_0 , défini précédemment.

Etape 3: suivant la méthode analytique exposée dans la Recommandation UIT-R S.1257 ou d'autres méthodes, on calcule un pourcentage de temps $\% t_m(Q)$ pendant lequel un satellite non OSG se trouve à l'intérieur d'un cône d'un angle égal à $2Q_m$.

Etape 4: on compare les pourcentages de temps calculés dans l'étape précédente avec des valeurs acceptables (par exemple, celles du Tableau 1). Si la valeur calculée du pourcentage de temps $\% t(Q)_m$ n'excède pas une valeur $\% t_m$ donnée, le niveau de brouillage est alors acceptable (selon les critères utilisés).

L'Appendice 1 présente un exemple d'application de l'algorithme proposé pour estimer le brouillage entre les liaisons de connexion d'un réseau SMS non OSG et un système SFS OSG.

APPENDICE 1

DE L'ANNEXE 1

Exemple d'estimation de brouillage entre les liaisons de connexion du SMS non OSG et des systèmes du SFS OSG utilisant les mêmes bandes de fréquences dans le même sens

L'exemple se rapporte à un cas d'estimation du brouillage causé par des liaisons de connexion SMS non OSG à un système SFS OSG. Les hypothèses utilisées sont caractéristiques d'un réseau à satellite non OSG du type LEO G ($h = 1\,500$ km, $i = 74^\circ$, $N = 48$) et d'un satellite OSG type. Les estimations sont effectuées pour des stations terriennes utiles et brouilleuses aux latitudes de 0° et 60° et avec le satellite situé sur la même longitude que la station terrienne.

Les résultats de ces estimations sont présentés dans le Tableau 2a) pour le sens Terre-espace, et dans le Tableau 2b), pour le sens espace-Terre. Les estimations sont effectuées selon la séquence suivante.

Etape 1: dans cette première étape, on estime le niveau de brouillage acceptable exprimé sous forme de fraction, x , d'une densité spectrale de la puissance de bruit, N_0 , donnée au niveau du récepteur pour le pourcentage de temps, $\% t_m$, établi pour la bande de fréquences utilisée.

On utilise à cette fin la formule suivante.

$$I_0 = 10 \log x + 10 \log(k T) \quad \text{dB(W/Hz)}$$

Dans les Tableaux 2a) et 2b) au pourcentage de temps $\% t_m$ établi (colonne 2) correspondent des valeurs appropriées de N_0 (colonne 4), de x (colonne 5) et une valeur seuil de brouillage $(xN_0)_m$ (colonne 6) qui est estimée.

Etape 2: dans cette deuxième étape, on calcule, à l'aide des expressions (1) ou (2) (selon qu'il s'agit d'une liaison montante ou descendante) et du diagramme de rayonnement de l'antenne de la station terrienne, les valeurs de l'angle Q_m correspondant à une densité spectrale de la puissance de bruit $(xN_0)_m$ acceptable déterminée précédemment. Les valeurs de Q_m sont présentées dans la colonne 11 des Tableaux 2a) et 2b).

Etape 3: dans cette troisième étape, on estime le pourcentage de temps $\% t(Q)_m$ pendant lequel les satellites non OSG se trouvent à l'intérieur d'un cône d'un angle sommital égal à $2Q_m$ calculé à l'aide de la méthode analytique présentée dans la Recommandation UIT-R S.1257 (voir la colonne 12).

Etape 4: dans cette quatrième et dernière étape, on compare le pourcentage de temps calculé avec des valeurs acceptables (celles présentées à titre d'exemple uniquement dans le Tableau 1).

Les résultats des estimations présentés dans les Tableaux 2a) et 2b) montrent que les niveaux de brouillage causé par les stations de liaisons de connexion SMS non OSG aux stations SFS OSG ne seraient pas conformes aux critères $(xN_0)_m$ de brouillage de brève durée utilisés dans cet exemple.

TABLEAU 2

Niveau de brouillage de systèmes à satellites calculé à partir de la durée de brouillage possible (statistiques temporelles)
dans le cas d'un brouillage causé par un réseau du SMS non OSG à un réseau du SFS

a) Liaison montante

LEO-G
INTELSAT (Faisceau SIR)

i se rapporte au système à satellites causant le brouillage

w se rapporte au système à satellites soumis au brouillage.

Latitude de la station terrienne (degrés)	% <i>t</i> (%)	<i>T</i> (K)	<i>N</i> ₀ (dB(W/Hz))	<i>x</i>	<i>xN</i> ₀ (dB(W/Hz))	<i>P</i> _{1<i>i</i>} (dB(W/Hz))	<i>Lu</i> (dB)	<i>G</i> _{2<i>w</i>(<i>b</i>)} (dB)	<i>G</i> _{1<i>i</i>(<i>Q</i>)} (dB)	<i>Q</i> (degrés)	% <i>t(Q)</i> (%)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0,87	766	-199,8	0,06	-212	-64,6	206,6	37,2	22,0	2,10	0,0372
	0,119			0,26	-205,7				28,3	1,54	0,024
	0,029			1,00	-199,8				34,2	1,11	0,012
	0,0004			2,16	-196,5				37,5	0,81	0,0068
60	0,87	766	-199,8	0,06	-212	-64,6	207,4	37,2	22,8	2,10	0,2308
	0,119			0,26	-205,7				29,1	1,48	0,118
	0,029			1,00	-199,8				35,0	1,06	0,068
	0,0004			2,16	-196,5				38,3	0,71	0,0268

b) Liaison descendante

LEO-G
INTELSAT (Station terrienne de norme E)

i se rapporte au système à satellites causant le brouillage

w se rapporte au système à satellites soumis au brouillage.

Latitude de la station terrienne (degrés)	% <i>t</i> (%)	<i>T</i> (K)	<i>N</i> ₀ (dB(W/Hz))	<i>x</i>	<i>xN</i> ₀ (dB(W/Hz))	<i>P</i> _{3<i>i</i>} (dB(W/Hz))	<i>G</i> _{3<i>i</i>(<i>b</i>)} (dB)	<i>Ld</i> (dB)	<i>G</i> _{4<i>w</i>(<i>Q</i>)} (dB)	<i>Q</i> (degrés)	% <i>t(Q)</i> (%)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0,87	309	-203,7	0,06	-215,9	-78,6	5,0	177,3	35,0	0,60	0,004
	0,119			0,26	-209,6				41,3	0,45	0,0012
	0,029			1,00	-203,7				47,2	0,26	0,001
	0,0004			2,16	-200,4				50,5	-	0
60	0,87	309	-203,7	0,06	-215,9	-78,6	15,0	182,8	30,5	1,15	0,076
	0,119			0,26	-209,6				36,8	0,56	0,012
	0,029			1,00	-203,7				42,7	0,42	0,0092
	0,0004			2,16	-200,4				46,0	0,31	0,008