

## RECOMMANDATION UIT-R M.1319\*

**PRINCIPE D'UNE MÉTHODOLOGIE D'ÉVALUATION DE L'IMPACT DU BROUILLAGE D'UN SYSTÈME À SATELLITES NON GÉOSTATIONNAIRES DU SERVICE MOBILE PAR SATELLITE (SMS NON OSG) À ACCÈS MULTIPLE PAR RÉPARTITION DANS LE TEMPS OU EN FRÉQUENCE (AMRT-AMRF), FONCTIONNANT DANS LA BANDE DES 2 GHz SUR LA QUALITÉ DE FONCTIONNEMENT DE RÉCEPTEURS DU SERVICE FIXE EN VISIBILITÉ DIRECTE\*\***

(Questions UIT-R 201/8 et UIT-R 118/9)

(1997)

## Résumé

La présente Recommandation expose une méthodologie destinée à servir de point de départ pour la mise au point d'outils de simulation sur ordinateur utilisables à des fins de coordination, conformément à la Résolution 46 (Rév.CMR-95) de la Conférence mondiale des radiocommunications (1995) entre les parties concernées, pour permettre une évaluation détaillée de l'impact du brouillage d'un système à satellites non géostationnaires (non OSG) du service mobile par satellite (SMS) à accès multiple par répartition dans le temps (AMRT) ou à accès multiple par répartition en fréquence (AMRF) dans les bandes attribuées au SMS à l'intérieur de la gamme des 2 GHz sur des systèmes analogiques et numériques du service fixe en visibilité directe, en tenant compte des caractéristiques spécifiques des systèmes concernés du SMS et du service fixe.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que le service mobile par satellite (SMS) (espace-Terre) et le service fixe font l'objet d'attributions de fréquences à titre coprimaire dans la bande 2 170-2 200 MHz dans toutes les Régions et dans la bande 2 160-2 170 MHz dans la Région 2;
- b) que les émissions des satellites SMS non OSG pourraient provoquer un brouillage inacceptable des récepteurs du service fixe en visibilité directe et utilisant les mêmes fréquences;
- c) que ce brouillage implique des phénomènes évoluant dans le temps, tels que la géométrie du brouillage, les conditions de propagation, et le trafic du SMS;
- d) que la simulation est la méthode la plus couramment employée pour évaluer ce type de brouillage;
- e) que l'impact et l'acceptabilité de ce brouillage peuvent dans la plupart des cas être évalués dans le cadre d'une coordination bilatérale détaillée, en étudiant, au moyen d'une simulation par ordinateur, les statistiques des valeurs des rapports  $C/N$ ,  $C/I$  et  $C/(N + I)$ , tel qu'indiqué dans la Recommandation UIT-R M.1143;
- f) que, conformément à ce que préconise le *demande* 1.1 de la Résolution 716 (CMR-95), il est nécessaire de «mettre au point et fournir aux administrations, dans un délai opportun, les outils nécessaires pour évaluer l'incidence des brouillages lors de la coordination détaillée des systèmes du service mobile par satellite»;
- g) que les administrations des pays en développement ont particulièrement besoin d'une assistance en matière d'utilisation des outils de ce type,

*recommande*

**1** que la méthodologie présentée à l'Annexe 1 serve de point de départ à l'élaboration d'outils de simulation sur ordinateur à utiliser à des fins de coordination bilatérale détaillée, conformément aux dispositions de la Résolution 46 (Rév.CMR-95), entre les parties concernées, pour obtenir une évaluation précise de l'impact du brouillage produit par un système à satellites SMS non OSG à accès AMRT-AMRF sur les fréquences attribuées au SMS dans la bande des 2 GHz, et affectant des systèmes analogiques et numériques du service fixe en visibilité directe (Notes 1 et 2).

\* Cette Recommandation ayant été élaborée conjointement par les Commissions d'études 8 et 9 des radiocommunications, toute révision ultérieure devra également être faite conjointement par ces deux Commissions d'études.

\*\* Un complément d'étude est indispensable en ce qui concerne les réseaux du SMS à accès multiple par répartition en code (AMRC).

NOTE 1 – L'application de la méthodologie décrite dans la présente Recommandation exigera l'élaboration d'algorithmes ou de procédures de calcul permettant de mettre en œuvre les considérations exposées. L'utilisation ou l'adaptation de ces algorithmes ou de ces procédures dans le cadre d'une coordination bilatérale quelconque devraient faire l'objet d'un accord entre les parties concernées.

NOTE 2 – Dans les pays où de nombreux systèmes du service fixe sont exploités, il est peut-être suffisant d'appliquer l'analyse à un jeu représentatif de systèmes existants du service fixe, avec des valeurs réelles de paramètres du service fixe, en tenant compte particulièrement des systèmes du service fixe susceptibles de présenter une plus grande vulnérabilité aux brouillages. Les systèmes du service fixe qui sont les plus vulnérables sont généralement pointés pratiquement dans la direction du pire azimut; il est possible de déterminer cette direction d'après les caractéristiques orbitales du système du SMS. Cette question devra cependant donner lieu à un accord entre les parties concernées.

## ANNEXE 1

### 1 Introduction

Le partage des fréquences entre les systèmes SMS non OSG et ceux du service fixe met en cause des phénomènes qui évoluent dans le temps, tels que la géométrie du brouillage, les conditions de propagation, etc. La simulation est la méthode la plus couramment employée pour évaluer le brouillage des systèmes du SMS et du service fixe. Le résultat de ces simulations se présente d'ordinaire sous forme de statistiques de  $C/N$ ,  $C/I$  et  $C/(N + I)$ , tel qu'indiqué dans la Recommandation UIT-R M.1143 (Annexe 3).

Les objectifs appropriés de qualité de fonctionnement en bande de base, applicables à un système numérique et analogique donné du service fixe, peuvent généralement être exprimés sous la forme d'une valeur requise du rapport  $C/(N + I)$  (voir la Note 1 suivante). Dans le cas par exemple d'un système numérique du service fixe, la spécification en bande de base consiste d'ordinaire à imposer pendant un certain pourcentage du temps un taux d'erreur binaire (TEB) inférieur à une valeur déterminée. La valeur prescrite du TEB en bande de base, tirée des courbes de valeurs de référence, telles que celles qui sont indiquées dans la Recommandation UIT-R SF.766 ou de spécifications réelles de modem, peut s'exprimer sous forme de rapport énergie par élément binaire sur densité spectrale de bruit,  $E_b/N_0$ , lequel peut lui-même s'exprimer sous forme de valeur prescrite du rapport  $C/(N + I)$  à l'entrée du récepteur. De manière analogue les spécifications en bande de base concernant les systèmes analogiques avec multiplexage par répartition en fréquence-modulation de fréquence (MRF-MF) et TV-MF du service fixe, en termes de bruit total ou de rapport  $S/N$ , peuvent être exprimées sous forme de valeur prescrite du rapport  $C/(N + I)$  à l'entrée du récepteur.

NOTE 1 – La qualité de fonctionnement des faisceaux hertziens devrait en principe être associée à une grandeur donnée par l'expression  $C/(N + I)$ , mais la validité de ce type de relations est tributaire du caractère approprié de la valeur du bruit total  $N$  du système équivalent.

Ces objectifs équivalents de qualité de fonctionnement aux fréquences radioélectriques peuvent être représentés graphiquement par des courbes de distribution cumulative du rapport  $C/(N + I)$  et comparés aux courbes obtenues par simulation des rapports  $C/N$  et  $C/(N + I)$  afin d'évaluer le caractère acceptable du brouillage produit par les satellites SMS non OSG.

La méthode décrite ci-après, bien qu'elle repose sur un travail important de simulation par ordinateur, s'avère relativement simple à traduire sous forme de programme informatique, puisque tous les calculs et toutes les comparaisons sont effectuées aux fréquences radioélectriques. Cette méthodologie devrait être utilisée en règle générale au cours de la phase de coordination détaillée entre administrations, exigée et déclenchée par l'application de la Résolution 46 (Rév.CMR-95), afin de déterminer si le brouillage est ou non acceptable compte tenu des données réelles dont on dispose sur les systèmes du service fixe et des objectifs correspondants de qualité de fonctionnement et de disponibilité fixés par l'UIT-R.

Lors de l'évaluation d'un réseau SMS à accès AMRT-AMRF, il faudrait supposer que le signal brouilleur composite, dans une largeur de bande de référence de 1 MHz ou moins, subi par des stations fixes, est produit uniquement par le réseau individuel considéré, moyennant l'hypothèse selon laquelle les émissions de ces systèmes du SMS ne seraient entrelacées dans aucun segment de 1 MHz du spectre.

## 2 Méthodologie

### 2.1 Etablissement de valeurs requises du rapport $C/(N + I)$ pour un système du service fixe

Il est généralement possible d'exprimer les objectifs appropriés de qualité de fonctionnement en bande de base, applicables à un système numérique et analogique donné du service fixe, sous la forme d'une valeur requise du rapport  $C/(N + I)$ , en procédant tel qu'indiqué ci-dessous.

La Recommandation UIT-R F.393 spécifie des exigences de qualité de fonctionnement pour des systèmes MRF-MF du service fixe, en termes de bruit total en bande de base, dans une voie téléphonique donnée, pour différents pourcentages du temps. Ces exigences en bande de base pour le circuit de référence peuvent se traduire en exigences équivalentes concernant le rapport  $C/(N + I)$ , par l'intermédiaire de la relation standard entre  $C/N$  et  $S/N$  pour des signaux MF.

La Recommandation UIT-R F.555 spécifie des exigences de qualité de fonctionnement pour des systèmes analogiques TV-MF du service fixe, en termes de valeur prescrite du rapport  $S/N$  dans une voie vidéo donnée, pour différents pourcentages du temps. Ces exigences en bande de base pour le circuit de référence peuvent se traduire en exigences équivalentes concernant le rapport  $C/(N + I)$ , par l'intermédiaire de la relation standard entre  $C/N$  et  $S/N$  pour des signaux MF.

Les Recommandations UIT-R F.634, UIT-R F.695, UIT-R F.696, UIT-R F.697 et UIT-R F.557 spécifient des objectifs de qualité de fonctionnement du réseau (objectifs de taux d'erreur et de disponibilité) pour les systèmes numériques existants de qualité élevée, moyenne et locale du réseau numérique à intégration de services (RNIS), en termes de valeur prescrite du TEB pour différents pourcentages du temps. Ces exigences en bande de base pour le circuit de référence peuvent se traduire en exigences équivalentes concernant le rapport  $C/(N + I)$ , au moyen des courbes de référence normalisées figurant dans la Recommandation UIT-R SF.766.

L'établissement des valeurs requises du rapport  $C/(N + I)$  pour les nouveaux systèmes numériques du service fixe devrait s'appuyer sur les indications des Recommandations UIT-R F.1092 et UIT-R F.1189 et des révisions ultérieures.

Il y aurait lieu d'utiliser les caractéristiques réelles de modem du récepteur du service fixe, lorsqu'elles sont connues, pour traduire l'objectif de qualité de fonctionnement en bande de base sous forme de rapport  $C/(N + I)$ . En l'absence de ces informations, il est possible d'utiliser les caractéristiques théoriques indiquées dans la Recommandation UIT-R F.766; une marge d'application devrait alors être convenue entre les parties concernées.

### 2.2 Etablissement de statistiques des rapports $C/I$ , $C/N$ et $C/(N + I)$ pour un système du service fixe

*Etape 1:* Calcul pour chaque intervalle de temps de la puissance de porteuse reçue au niveau de chaque station de réception du service fixe sur une voie d'acheminement à bonds multiples du service fixe, avec prise en compte de l'évanouissement par trajets multiples sur cette boucle particulière.

a) La puissance de porteuse,  $C$ , reçue au niveau de chaque station est calculée d'après la p.i.r.e. de la station d'émission associée du service fixe, l'affaiblissement en espace libre correspondant à cette longueur de trajet particulière, ainsi que l'affaiblissement des évanouissements dus à la propagation par trajets multiples applicable à ce bond particulier, le gain d'antenne de réception du service fixe et les pertes dans la ligne d'alimentation de la station de réception du service fixe.

b) Les évanouissements dus à la propagation par trajets multiples sont pris en compte au moyen d'un modèle de prévision de la profondeur des évanouissements aléatoires, dont les résultats sont cohérents par rapport à la distribution statistique établie par application de la dernière version de la modélisation des évanouissements dus à la propagation par trajets multiples définie dans la Recommandation UIT-R P.530. Le modèle prévisionnel en question utilise en données d'entrée des informations concernant la longueur du trajet, son inclinaison, la fréquence, ainsi qu'un certain nombre de facteurs géoclimatiques spécifiés dans la Recommandation susmentionnée, et correspondant à l'emplacement géographique particulier du bond considéré du service fixe. L'intervalle de temps spécifié pour l'application du modèle de prévision de la profondeur des évanouissements aléatoires peut généralement être différent de l'intervalle de temps prescrit pour l'évaluation du brouillage, puisqu'il s'agit habituellement dans ce dernier cas d'un phénomène qui varie plus lentement. Pour des systèmes numériques types du service fixe fonctionnant dans la bande des 2 GHz, il est normalement inutile de prévoir une marge destinée à tenir compte d'autres types d'évanouissements.

c) Dans certains cas, les bonds du service fixe peuvent être dépourvus de dégagement de première zone de Fresnel. En pareille circonstance, il convient d'ajouter un facteur d'affaiblissement supplémentaire à l'affaiblissement en espace libre et à l'affaiblissement des évanouissements dus à la propagation par trajets multiples. La détermination de ce facteur doit se fonder, dans la mesure du possible, sur des mesures.

d) Lorsqu'il existe des mesures de propagation statistiquement fondées concernant différents bords du service fixe, ces données peuvent être substituées aux données obtenues par application des modèles de propagation mentionnés plus haut en a), b) et c), sur accord des parties concernées. Dans certains cas, il est parfois possible, par exemple si l'on utilise des mesures, d'ignorer les variations quotidiennes et/ou saisonnières des évanouissements dus à la propagation par trajets multiples.

e) Il conviendrait d'envisager la prise en compte dans l'évaluation du bruit total,  $N$ , d'une marge correspondant au brouillage intrasystème et intraservice au sein du service fixe, comme des contributions de divers services (non SMS) partageant la liaison à titre coprimaire (voir la Note 1 suivante). La valeur de cette marge doit être déterminée par les parties concernées. Il convient de noter que la Recommandation UIT-R F.1094 spécifie que les dégradations maximales admissibles de la qualité en matière d'erreur et de disponibilité pour les faisceaux hertziens numériques, dues aux émissions des services en partage de fréquences attribuées à titre primaire, ne doivent pas dépasser 10% des objectifs de qualité de fonctionnement du réseau.

NOTE 1 – Le bruit total équivalent comprend, outre les contributions représentant le bruit thermique et le bruit des récepteurs, des facteurs correspondant au brouillage intraservice, outre divers facteurs supplémentaires liés au type particulier de système du service fixe. Pour les systèmes numériques, il est parfois indispensable de prendre en considération les défauts d'implémentation des récepteurs, en cas d'utilisation des caractéristiques théoriques de modem. Pour les faisceaux hertziens analogiques MF, il faut tenir compte du bruit de distorsion d'intermodulation et des contributions brouilleuses de certains composants de système tels que les multiplexeurs/démultiplexeurs, et les liaisons d'entrée. Enfin d'autres facteurs doivent parfois être pris en compte dans le cas des faisceaux hertziens analogiques de télévision.

*Etape 2:* Calcul pour chaque intervalle de temps de la puissance du signal brouilleur,  $I$ , au niveau de chaque station de réception du service fixe, sur une voie d'acheminement à bords multiples du service fixe, produite par chacune des porteuses brouilleuses du SMS à accès AMRT-AMRF, dans la largeur de bande occupée par la porteuse du service fixe, et provenant de chacun des faisceaux ponctuels émis par chaque satellite visible SMS non OSG, en tenant compte du découplage de polarisation du faisceau ponctuel de satellite SMS non OSG et de l'antenne de réception du service fixe, ainsi que de la puissance/charge de trafic des faisceaux ponctuels de satellites et des plans de fréquences.

a) Les positions orbitales des différents satellites SMS non OSG sont prévisibles au moyen d'un modèle prédictif approprié tenant compte des vitesses de précession réelles ou forcées des orbites.

b) L'affaiblissement en espace libre sur le trajet du signal brouilleur provenant de chacun des satellites visibles SMS non OSG affectant les différentes stations visibles du service fixe peut être calculé connaissant l'amplitude du vecteur distance.

c) Les différents faisceaux ponctuels de chacun des satellites SMS non OSG peuvent être caractérisés par des diagrammes de rayonnement de référence ou par des diagrammes de rayonnement effectivement mesurés ou prévus.

d) Le gain de l'antenne de chaque faisceau ponctuel de chacun des satellites SMS non OSG, vers chacune des stations de réception du service fixe, peut être calculé connaissant la position relative instantanée du satellite SMS non OSG par rapport à la station du service fixe et la direction de pointage du faisceau ponctuel considéré.

e) Chaque antenne de réception du service fixe peut généralement être décrite au moyen du diagramme de rayonnement indiqué dans la Recommandation UIT-R F.1245 ou au moyen du diagramme ou de la formule de rayonnement réelle.

f) En ce qui concerne chacune des stations de réception du service fixe, le gain d'antenne en réception vers chacun des satellites non OSG visibles peut être calculé connaissant la position relative instantanée du satellite SMS non OSG par rapport à la station du service fixe et la direction de pointage du faisceau ponctuel considéré.

g) En s'appuyant sur des prévisions réalistes des distributions quotidiennes et géographiques du trafic d'abonné et en fonction de la répartition du trafic entre les faisceaux ponctuels liée au système considéré, l'exploitant du SMS est en mesure de déterminer le trafic total acheminé par les différents faisceaux ponctuels de chaque satellite SMS non OSG, en utilisant des algorithmes types ou des algorithmes brevetés.

h) Pour les différentes stations de réception du service fixe, la puissance brouilleuse de toutes les porteuses du SMS à accès AMRT-AMRF dans un faisceau ponctuel quelconque de n'importe quel satellite SMS non OSG chevauchant la largeur de bande de porteuse occupée par le service fixe, peut être additionnée en tenant compte du découplage d'antenne des faisceaux ponctuels des satellites du SMS, du découplage d'antenne des stations du service fixe et de l'affaiblissement dans l'espace. Il suffit parfois de tenir compte des faisceaux ponctuels de satellites SMS non OSG dont la ligne de visée fait moins d'un certain angle par rapport au faisceau principal de la station de réception brouillée du service fixe.

i) Puisque les systèmes à satellites SMS non OSG, comme ceux du service fixe utiliseront respectivement d'ordinaire une polarisation circulaire et une polarisation linéaire, il y a lieu d'envisager quelle sera la valeur effective du rapport de découplage de polarisation. Plus précisément, si l'angle formé par l'axe du faisceau ponctuel du satellite SMS non OSG et l'axe de l'antenne de la station du service fixe est inférieur à une valeur donnée (par exemple, l'angle d'ouverture de faisceau à 3 dB des deux antennes), on peut calculer un gain de polarisation en tenant compte des données disponibles concernant les diagrammes réels de polarisation croisée des faisceaux ponctuels des satellites SMS et des antennes du service fixe; une autre solution consiste à utiliser à cet effet les indications figurant dans la Recommandation UIT-R F.1245.

*Etape 3:* Calcul la puissance totale de bruit équivalente,  $N$ . Le bruit thermique au niveau de chaque station de réception du service fixe peut être calculé connaissant la température de bruit du système du service fixe, compte tenu du niveau de bruit du récepteur, des pertes de la ligne d'alimentation et de la température de bruit de l'antenne.

*Etape 4:* Calcul pour chaque intervalle de temps des rapports  $C/I$  (correspondant à toutes les porteuses brouilleuses actives appropriées du SMS des différents faisceaux ponctuels concernés provenant de chacun des satellites visibles SMS non OSG),  $C/N$  et  $C/(N + I)$  au niveau de chacune des stations de réception du service fixe.

*Etape 5:* Calcul pour chaque intervalle de temps des rapports  $C/I$ ,  $C/N$  et  $C/(N + I)$ , par sommation des valeurs inverses correspondantes des valeurs des rapports  $C/I$ ,  $C/N$  et  $C/(N + I)$  calculées à l'Etape 4 pour chacune des stations de réception du service fixe, ainsi que des valeurs globales des rapports  $C/I$ ,  $C/N$  et  $C/(N + I)$  au niveau de la station de réception terminale du service fixe du système considéré du service fixe.

*Etape 6:* Les étapes ci-dessus sont répétées pour chaque intervalle de temps pendant une période de temps statistiquement significative cohérente avec la durée d'un cycle orbital complet ou d'un cycle équivalent de la constellation de satellites SMS non OSG, et avec une période représentative des propriétés des évanouissements dus à la propagation par trajets multiples. Une façon de vérifier la validité statistique de la période choisie consiste à s'assurer que les statistiques établies au niveau prescrit ne sont pas sensiblement modifiées par la prise en compte d'intervalles de temps supplémentaires. L'application des autres méthodes décrites dans la Recommandation UIT-R F.1108 peut également faciliter cette évaluation.

*Etape 7:* Si le pays considéré compte un nombre important de systèmes du service fixe susceptibles d'être affectés par le système à satellites SMS non OSG, il est vraisemblablement possible de procéder à la simulation en effectuant parallèlement les Etapes 1 à 6 ci-dessus pour chacun des systèmes en question du service fixe.

*Etape 8:* Enfin il est possible de représenter graphiquement la distribution cumulative des rapports  $C/I$ ,  $C/N$  et  $C/(N + I)$  pour chacun des systèmes du service fixe. Les courbes de valeurs de  $C/N$  (en l'absence de brouillage) et de  $C/(N + I)$  peuvent alors être comparées aux objectifs correspondants de qualité de fonctionnement fixés par l'UIT-R.

NOTE 1 – La durée de l'intervalle de temps choisi pour l'algorithme d'évaluation du brouillage devrait être suffisante pour permettre de recueillir des échantillons multiples correspondant à des configurations de visibilité des satellites SMS non OSG dans le faisceau principal des stations particulières du service fixe à prendre en considération. Le choix de la valeur appropriée de l'intervalle de temps est fonction des paramètres orbitaux de la constellation de satellites SMS non OSG, de l'emplacement des stations du service fixe et de l'ouverture de faisceau des antennes du service fixe.

NOTE 2 – La période de simulation doit être suffisamment longue pour pouvoir prendre en compte la durée complète d'un cycle orbital de satellite SMS non OSG. Les indications figurant à l'Annexe 5 de la Recommandation UIT-R F.1108 peuvent faciliter l'analyse des effets de l'uniformité du brouillage d'une constellation de satellites SMS non OSG pendant un mois. Ces différents facteurs étant pris en considération, et pour une constellation de satellite SMS non OSG caractérisée par une vitesse de précession orbitale relativement faible, il est sans doute préférable de fixer une valeur forcée de la vitesse de précession pour pouvoir simuler la durée du cycle orbital complet moyennant un temps de simulation d'une durée raisonnable.

NOTE 3 – Les objectifs de qualité de fonctionnement du service fixe spécifiés dans toutes les Recommandations UIT-R pertinentes s'appliquent uniquement aux périodes de disponibilité, la notion de disponibilité étant définie dans les Recommandations correspondantes. Pendant les périodes de non-disponibilité due aux conditions de propagation, il n'y a pas lieu d'analyser l'impact des brouillages. Ce facteur peut toutefois être ignoré lors de l'application de la présente méthodologie, si le brouillage dû au système SMS non OSG n'empêche pas le système du service fixe de répondre à toutes les exigences liées à l'observation des objectifs de taux d'erreur fixés par l'UIT-R.

NOTE 4 – La distribution du rapport  $C/(N + I)$  relative à un système du service fixe à bond unique peut également être établie par convolution des distributions de  $C$  et  $I$  avec  $N$ . Voir l'Annexe 6 de la Recommandation UIT-R F.1108.

### 2.3 Analyse

*Etape 1:* La coordination des fréquences devrait, d'un point de vue technique, être menée à bien de façon satisfaisante, si les objectifs de qualité de fonctionnement du service fixe spécifiés dans toutes les Recommandations UIT-R applicables sont atteints pour les différents systèmes du service fixe considérés, en présence d'une dégradation marginale supplémentaire de la qualité de fonctionnement produite par le brouillage du système à satellites SMS non OSG.

*Etape 2:* Dans certains cas, il peut s'avérer nécessaire d'entreprendre d'autres études pour déterminer le caractère acceptable ou non du brouillage provoqué par le système à satellites SMS non OSG, avant d'envisager d'autres mesures de répartition des inconvénients.

---