

RECOMMANDATION UIT-R M.1141-2* **

Partage dans la gamme de fréquences 1-3 GHz, entre les stations spatiales non géostationnaires du service mobile par satellite (SMS non OSG) et les stations du service fixe

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

(1995-1997-2005)

Domaine de compétence

Les niveaux de puissance surfacique et de dégradation relative de la qualité de fonctionnement sont décrits en termes de seuils de coordination des assignations de fréquence aux émetteurs de stations spatiales non géostationnaires (non OSG) du service mobile par satellite (SMS) et aux stations de réception du service fixe dans les bandes de fréquences exploitées en partage par ces services dans la gamme 1-3 GHz. Les Annexes présentent la méthode de partage entre constellations de stations spatiales d'émission non OSG et stations de réception du service fixe, ainsi qu'une récapitulation des études consacrées au partage de fréquences entre stations d'émission fixes et récepteurs de stations spatiales non OSG.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'il est nécessaire d'étudier les critères applicables au partage et à la coordination entre les systèmes du service mobile par satellite (SMS) d'une part et les services fixe et mobile d'autre part;
- b) que les bandes 2 170-2 200 MHz, 2 483,5-2 500 MHz et 2 500-2 535 MHz sont attribuées, à titre primaire avec égalité des droits, au SMS (espace vers Terre) et au service fixe;
- c) que les bandes 1 518-1 525 MHz, 1 525-1 530 MHz et 2 160-2 170 MHz sont attribuées, à titre primaire avec égalité des droits, au SMS (espace vers Terre) et au service fixe, dans certaines régions ou par certaines administrations;
- d) que, depuis plusieurs décennies, des systèmes du service fixe sont exploités par de nombreuses administrations dans les bandes nouvellement attribuées au SMS;
- e) que, dans bien des pays, les radiodiffuseurs exploitent des services auxiliaires qui ont des caractéristiques des services fixe et mobile, dans certaines bandes utilisées en partage avec le SMS;
- f) que, pour évaluer les situations de partage dans la gamme 1-3 GHz, il faut tenir compte des caractéristiques de fonctionnement des systèmes du service fixe (systèmes analogiques point à point, numériques point à point, numériques point à multipoint, y compris les systèmes d'accès local);

* Cette Recommandation s'applique exclusivement au partage dans le sens espace vers Terre. Aucun critère spécifique n'a été défini en ce qui concerne le partage dans le sens Terre vers espace.

** La révision de 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.

- g) que les caractéristiques de fonctionnement des systèmes non OSG du SMS doivent être prises en compte pour le partage dans la gamme 1-3 GHz;
- h) qu'une valeur donnée de la puissance surfacique produite par différentes constellations de satellites non OSG du SMS fournit des valeurs différentes de la dégradation relative de la qualité de fonctionnement (FDP) (voir la Recommandation UIT-R F.1108);
- j) qu'il a été proposé que des systèmes multiples non OSG du SMS utilisant des techniques d'accès multiple par répartition en code (AMRC) partageant des fréquences dans le sens espace vers Terre, dans la bande 2 483,5-2 500 MHz, avec utilisation de la même fréquence;
- k) que les analyses effectuées selon les méthodes décrites dans la Recommandation UIT-R F.1108 montrent que le partage du spectre est possible entre les systèmes non OSG du SMS et les faisceaux hertziens analogiques dans la bande 2 483,5-2 500 MHz (voir l'Annexe 1) et dans la bande 2 160-2 200 MHz, même si des valeurs de la puissance surfacique supérieures à celles données au numéro 21.16 du Règlement des radiocommunications (RR) (pour la bande 3 400-4 200 MHz) sont utilisées pour le seuil de coordination;
- l) que les analyses effectuées selon la méthode décrite dans la Recommandation UIT-R F.1108, pour les faisceaux hertziens numériques de conception actuelle, montrent que les critères de protection FDP seraient dépassés dans la bande 2 483,5-2 500 MHz où les systèmes non OSG du SMS fonctionnent avec les valeurs de puissance surfacique spécifiées au numéro 21.16 du RR pour la bande 3 400-4 200 MHz (voir l'Annexe 1);
- m) que, en raison de la présence de brouillages causés par les appareils industriels, scientifiques et médicaux (ISM) et les émetteurs des réseaux locaux dans la bande 2 483,5-2 500 MHz, cette bande ne présente aucun intérêt, dans de nombreux pays, pour les faisceaux hertziens numériques;
- n) que la Recommandation UIT-R F.1246 définit la largeur de bande de référence des systèmes du service fixe à utiliser pour spécifier les seuils de coordination,

recommande

- 1** que les critères présentés au Tableau 1, exprimés sous forme de valeurs FDP pour une largeur de bande de référence de 1 MHz, soient utilisés comme valeurs du seuil de coordination entre les systèmes non OSG du SMS (espace vers Terre) et les systèmes numériques du service fixe dans les bandes de fréquences indiquées, sauf dans la bande mentionnée au § 3 (voir la Note 2);
- 2** que les critères exprimés sous forme de valeurs de la puissance surfacique rapportée à une largeur de bande de référence de 1 MHz, indiqués au Tableau 1, et de 4 kHz, indiqués au Tableau 2, soient utilisés comme valeurs du seuil de coordination entre les systèmes non OSG du SMS (espace vers Terre) et les systèmes analogiques de téléphonie du service fixe dans les bandes de fréquences indiquées (voir la Note 1); que, pour les systèmes analogiques de télévision du service fixe, seules les valeurs de la puissance surfacique rapportée à la largeur de bande de 1 MHz, indiquées au Tableau 1, soient utilisées (voir les Notes 1, 3, 4, 5 et 6);
- 3** que, pour pouvoir mettre en œuvre des systèmes non OSG du SMS dans la bande 2 483,5-2 500 MHz, il pourra être nécessaire de concevoir de nouveaux faisceaux hertziens numériques, de types point à point et point à multipoint, et de faire en sorte qu'ils soient compatibles avec les valeurs de puissance surfacique mentionnées dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

Valeurs du seuil de coordination pour quelques bandes de fréquences utilisées pour les systèmes non OSG (espace vers Terre) du SMS et pour les systèmes du service fixe (puissance surfacique pour les systèmes analogiques et FDP pour les systèmes numériques)

Bande de fréquences (MHz)	Puissance surfacique par station spatiale en fonction de l'angle d'arrivée δ (degrés) (dB(W/(m ² · MHz)))	FDP (%) (voir la Note 2)
1 518-1 525	-128 pour $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$ -128 + 0,5 ($\delta - 5$) pour $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$ -118 pour $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$	25
1 525-1 530	-128 pour $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$ -128 + 0,5 ($\delta - 5$) pour $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$ -118 pour $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$	25
2 160-2 170	-123 pour $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$ -123 + 0,5 ($\delta - 5$) pour $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$ -113 pour $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$ (Voir la Note 3)	25
2 170-2 200	-123 pour $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$ -123 + 0,5 ($\delta - 5$) pour $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$ -113 pour $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$ (Voir la Note 3)	25
2 483,5-2 500	-126 pour $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$ -126 + 0,65 ($\delta - 5$) pour $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$ -113 pour $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$ (Voir la Note 4)	Les valeurs de la puissance surfacique données dans la colonne précédente s'appliquent aux faisceaux hertziens numériques exploités dans cette bande (Voir la Note 4)
2 500-2 535	-128 pour $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$ -128 + 0,5 ($\delta - 5$) pour $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$ -118 pour $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$	25

NOTE 1 – Lorsqu'il y a partage des fréquences avec des systèmes analogiques de téléphonie du service fixe, une coordination plus poussée n'est nécessaire que lorsque les puissances surfaciques sont supérieures ou égales aux seuils de coordination indiqués aux Tableaux 1 et 2.

NOTE 2 – La Recommandation UIT-R F.1108 décrit la méthode qui permet de calculer la FDP pour un réseau du service fixe.

NOTE 3 – Les valeurs de puissance surfacique spécifiées pour la bande 2 160-2 200 MHz permettent d'obtenir la protection totale des faisceaux hertziens analogiques, avec les critères de partage établis dans la Recommandation UIT-R SF.357, dans le cas de l'exploitation avec un système non OSG du SMS appliquant les techniques d'accès multiple par répartition dans le temps et en fréquence (AMRT-AMRF) à bande étroite.

NOTE 4 – Les valeurs de puissance surfacique spécifiées pour la bande 2 483,5-2 500 MHz permettent d'obtenir la protection totale des faisceaux hertziens analogiques, avec les critères de partage établis dans la Recommandation UIT-R SF.357, dans le cas de l'exploitation avec plusieurs systèmes non OSG du SMS appliquant les techniques AMRC (voir l'Annexe 1). Ces valeurs de puissance surfacique ne permettent pas d'obtenir dans tous les cas la protection totale des systèmes fixes numériques existants. Toutefois, il faut considérer que lesdites valeurs de puissance surfacique permettent de protéger de façon satisfaisante les systèmes fixes numériques destinés à fonctionner dans cette bande, dans les cas où des appareils ISM à grande puissance et, éventuellement, des applications à faible puissance pourraient causer des brouillages relativement élevés.

TABLEAU 2

Valeurs du seuil de coordination pour quelques bandes de fréquences utilisées pour les systèmes non OSG (espace vers Terre) du SMS et pour les systèmes du service fixe (systèmes analogiques de téléphonie)

Bande de fréquences (MHz)	Puissance surfacique par station spatiale en fonction de l'angle d'arrivée δ (degrés) (dB(W/(m ² · MHz)))	
1 518-1 525	-146	pour $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$
	$-146 + 0,5 (\delta - 5)$	pour $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$
	-136	pour $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$
1 525-1 530	-146	pour $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$
	$-146 + 0,5 (\delta - 5)$	pour $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$
	-136	pour $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$
2 160-2 170	-141	pour $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$
	$-141 + 0,5 (\delta - 5)$	pour $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$
	-131	pour $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$
	(Voir la Note 3)	
2 170-2 200	-141	pour $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$
	$-141 + 0,5 (\delta - 5)$	pour $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$
	-131	pour $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$
	(Voir la Note 3)	
2 483,5-2 500	-144	pour $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$
	$-144 + 0,65 (\delta - 5)$	pour $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$
	-131	pour $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$
2 500-2 535	-146	pour $0^\circ \leq \delta < 5^\circ$
	$-146 + 0,5 (\delta - 5)$	pour $5^\circ \leq \delta < 25^\circ$
	-136	pour $25^\circ \leq \delta < 90^\circ$

NOTES 1 à 4 – Voir le Tableau 1.

NOTE 5 – D'après la Recommandation UIT-R F.1246 concernant la largeur de bande de référence, les puissances surfaciques spécifiées au Tableau 2 rapportées à une largeur de bande de référence de 4 kHz sont inférieures de 18 dB aux puissances surfaciques spécifiées au Tableau 1 pour une largeur de bande de référence de 1 MHz. Ces valeurs conviennent à la protection des systèmes analogiques du service fixe de faible et moyenne capacité (960 voies au plus), tel qu'indiqué dans la Recommandation UIT-R F.1246.

NOTE 6 – La méthode qui consiste à utiliser conjointement les largeurs de bande de référence de 1 MHz et de 4 kHz, selon la solution adoptée dans le § 2 du *recommande*, est uniquement applicable aux bandes de la gamme 1-3 GHz exploitées en partage par le SMS et par le service fixe. Ce résultat repose sur le fait que les systèmes analogiques du service exploités dans ces bandes ont généralement des capacités faibles à moyenne de 960 voies au plus. Cette approche ne convient pas à d'autres bandes de fréquences dans lesquelles des faisceaux hertziens analogiques de capacité élevée sont exploités.

Annexe 1

Méthodologie de partage et critères de brouillage utilisés pour déterminer les critères applicables au seuil de coordination

1 Description de la méthodologie

La méthodologie à appliquer pour déterminer le seuil de coordination entre les liaisons descendantes non OSG du SMS et le service fixe, est fondée sur les dispositions de la Recommandation UIT-R F.1108, laquelle contient:

- une méthode pour déterminer la statistique de visibilité, depuis les stations de Terre, de satellites non OSG. La méthode tient compte des caractéristiques orbitales du système non OSG, du mouvement de la Terre et de certains paramètres géométriques. Cette méthode est suffisamment complexe pour nécessiter l'emploi d'un programme d'ordinateur aux fins de déterminer la statistique de visibilité;
- une méthode qui permet d'établir une relation entre le brouillage et la FDP pour les réseaux numériques du service fixe;
- une méthode qui permet d'établir une relation entre le brouillage et une dégradation de la qualité de fonctionnement pour les réseaux analogiques du service fixe.

Pour le cas du service fixe numérique, l'objectif en matière de brouillage est une dégradation de l'objectif de taux d'erreur (augmentation des interruptions de fonctionnement). Il s'agit d'une valeur unique (par exemple, 10%).

Pour le cas du service fixe analogique, un gabarit à deux points est utilisé pour exprimer l'objectif de brouillage: objectif de brouillage à long terme et objectif de brouillage à court terme.

1.1 Méthodologie de la simulation

Il a été fait appel à un programme d'ordinateur pour simuler le brouillage causé au réseau du service fixe par la ou les constellation(s) de satellites non OSG fonctionnant dans la bande 2483,5-2500 MHz. Ce programme calcule les positions orbitales des satellites à chaque instant; l'équation (1) permet de déterminer le brouillage total causé par tous les satellites visibles de la ou des station(s) du service fixe:

$$I = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \rho(\delta_{ij}) A_{iso} G(\theta_{ij}) \quad (1)$$

où:

- i : 1 des N satellites visibles
- j : 1 des M stations de l'artère considérée
- $\rho(\delta_{ij})$: puissance surfacique reçue dans la station j en provenance du i^e satellite
- δ_{ij} : angle d'élévation du i^e satellite vu de la station j
- A_{iso} : aire d'une antenne isotrope
 $= \lambda^2/4\pi$
- $G(\theta_{ij})$: gain de l'antenne de la j^e station dans la direction du i^e satellite
- θ_{ij} : angle formé par le vecteur de pointage de l'antenne de la j^e station et le vecteur de distance entre la j^e station et le i^e satellite.

Il est possible d'admettre les expressions suivantes pour la puissance surfacique arrivant sur l'antenne de réception de la station, en fonction de l'angle d'élévation:

$$\rho(\delta) = \begin{cases} \rho(5) & \text{pour } 0^\circ \leq \delta < 5^\circ & (2a) \\ \frac{\rho(25) - \rho(5)}{20} (\delta - 5) + \rho(5) & \text{pour } 5^\circ \leq \delta < 25^\circ & (2b) \\ \rho(25) & \text{pour } 25^\circ \leq \delta \leq 90^\circ & (2c) \end{cases}$$

où:

- δ : angle d'élévation (degrés)
- ρ : puissance surfacique (dBW/(m²)) dans une largeur de bande de référence
- $\rho(5)$: valeur de la puissance surfacique pour $\delta \leq 5^\circ$
- $\rho(25)$: valeur de la puissance surfacique pour $\delta \geq 25^\circ$.

Un autre procédé consiste à fixer *a priori* des valeurs pour les caractéristiques des faisceaux des satellites et à en déduire les valeurs correspondantes de la puissance surfacique pour plusieurs angles d'arrivée.

Dans le cas point à point, le gain de l'antenne de la station du service fixe est conforme au diagramme d'antenne dans lequel les niveaux des lobes latéraux ont les valeurs moyennes définies dans la Note 6 de la Recommandation UIT-R F.699. On peut également utiliser un diagramme de rayonnement d'antenne approprié pour les systèmes du type point à multipoint.

1.2 Systèmes analogiques du service fixe

On a supposé 51 stations analogiques échelonnées sur une artère centrée sur une latitude donnée. L'artère couvre une distance de 2 500 km, sur laquelle les stations sont exactement équidistantes (espacées de 50 km). Pour chaque station, l'angle d'azimut est déterminé par un angle moyen, de valeur donnée, et par un angle variable dont les valeurs sont uniformément réparties dans l'intervalle $\pm 12,5^\circ$. Dans l'analyse, il faut considérer des angles moyens variant entre 10° et 170° par échelons de 20° . Il peut être admis par hypothèse que chaque station est équipée d'une antenne à gain élevé, pointée dans la direction de la station suivante (angle d'élévation de 0°).

Le programme calcule la statistique de brouillage en fonction de la puissance totale du bruit de brouillage, évaluée à chaque point d'échantillonnage. Cette statistique donne la probabilité suivante: probabilité pour que la puissance totale du bruit de brouillage reçue dépasse un niveau de brouillage donné. Au moyen de l'expression suivante, il faut établir ensuite la correspondance entre l'intervalle de brouillage et la puissance du bruit de brouillage dans une voie de la bande de base de 4 kHz:

$$N_{ch} = \frac{N_T}{kTB} I \quad (3)$$

où:

- N_T : puissance du bruit thermique induit dans une voie de la bande de base de 4 kHz, dans une station = 25 pW, valeur psophométrique pondérée, en un point de niveau relatif zéro (pW0p)
- k : constante de Boltzmann

- T : température de bruit du système de réception de la station
 B : largeur de bande de référence = 4 kHz
 I : puissance totale du bruit de brouillage reçue dans la largeur de bande de référence.

1.3 Systèmes numériques du service fixe

Il suffit d'un seul récepteur numérique du service fixe pour faire l'analyse, et non plus d'une antenne complète. La station du service fixe est située à une certaine latitude et l'azimut de son axe de pointage varie entre 0° et 180° . L'hypothèse est que chaque station est équipée d'une antenne à gain élevé orientée sous un angle d'élévation de 0° .

A chaque instant considéré, le programme calcule le brouillage total reçu dans la station du service fixe.

Il calcule ensuite la FDP pour la station numérique, soit:

$$FDP = \sum_{I_i = \min}^{\max} \frac{I_i f_i}{N_T} \quad (4)$$

où:

- I_i : niveau de puissance du bruit de brouillage
 f_i : pourcentage de temps (fraction) pendant lequel la puissance du brouillage est égale à I_i
 N_T : niveau de la puissance de bruit du système de réception de la station = $k T B$
 k : constante de Boltzmann
 T : température de bruit équivalente du système de réception de la station
 B : largeur de bande de référence = 1 MHz.

La diminution de la marge de protection contre les évanouissements, FML , est donnée par:

$$FML = 10 \log (1 + FDP) \quad \text{dB}$$

Une FDP relative de 10% de la qualité de fonctionnement équivaut approximativement à un affaiblissement de 0,4 dB en marge de protection contre les évanouissements, une FDP de 25% équivaut à un affaiblissement de 1 dB et une FDP de 100% équivaut à un affaiblissement de 3 dB.

1.4 Constellations non OSG multiples

1.4.1 Systèmes analogiques du service fixe

Pour analyser l'effet produit sur le service fixe par plusieurs constellations non OSG, le programme d'ordinateur génère la fonction de densité de probabilité (fdp) discrète de la puissance du bruit de brouillage induit dans un canal du service fixe, pour chaque système non OSG du SMS. Si les intervalles de brouillage sont suffisamment petits, la fdp discrète sera très voisine de la fdp continue, pour le brouillage causé aux faisceaux hertziens à visibilité directe par un système non OSG du SMS d'un type donné. Plus précisément, la fdp de la puissance du brouillage, I_j , causée par le j^{e} système non OSG du SMS peut s'écrire:

$$p_j(I_j) \quad (5)$$

L'opération suivante consiste à déterminer la fdp du bruit de brouillage pour deux ou plusieurs systèmes non OSG du SMS. Pour trouver la fdp de la somme de deux variables aléatoires non corrélées, il peut être procédé par convolution des fdp individuelles. En général, si:

$$z = x + y \quad (6)$$

où x et y sont des variables aléatoires non corrélées, et si les fdp de x et de y s'expriment par $p_x(x)$ et $p_y(y)$, la fdp de z est donnée par l'intégrale de convolution:

$$p_z(z) = \int_{-\infty}^{\infty} p_x(z - y) p_y(y) dy \quad (7)$$

L'hypothèse de base, pour l'intégrale de convolution, est l'absence de corrélation entre les variables aléatoires x et y . Il peut être admis qu'il en est ainsi dans le cas des systèmes non OSG du SMS, en raison des différences entre les caractéristiques orbitales des différents systèmes; cela demande toutefois à être confirmé. L'intégrale de convolution permet par conséquent de déterminer la fdp du brouillage total, $p(I)$, causé aux faisceaux hertziens à visibilité directe par deux systèmes non OSG du SMS, j et k :

$$p(I) = \int_{-\infty}^{\infty} p_j(I - I_k) P_k(I_k) dI_k \quad (8)$$

L'équation (8) peut être appliquée par itérations (convolution de rang n), ce qui donne la fdp du brouillage total pour n systèmes non OSG du SMS indépendants.

La fonction de distribution cumulative est donnée par:

$$P(I > x) = \int_x^{\infty} p(I) dI = \sum_x^{\infty} p(I) \quad (9)$$

où:

$P(I > x)$: fonction de densité cumulée de la puissance brouilleuse dans la voie téléphonique

$p(I)$: fdp discrète ou fdp continue.

1.4.2 Systèmes numériques du service fixe

Le calcul de la FDP, dont il est question au § 1.3, donne le moment du premier ordre de la puissance de brouillage, normalisée par rapport au bruit présent à l'entrée du récepteur dans la largeur de bande de référence. La FDP due au brouillage causé par plusieurs constellations indépendantes est donc égale à la somme des dégradations produites respectivement par chaque constellation.

Les antennes utilisées dans les systèmes numériques sont de deux types: antennes à symétrie circulaire et à gain relativement élevé, et antennes à faible gain ou à gain moyen (constant dans le plan azimutal) avec diagramme directif dans le plan vertical. Il peut être admis que tous les faisceaux hertziens numériques à visibilité directe et tous les systèmes d'accès local avec antennes sectorielles utilisent des antennes à symétrie circulaire. Il peut être admis, par ailleurs, que le diagramme de rayonnement de ce type d'antenne correspond au diagramme d'antenne dans lequel les niveaux des lobes latéraux ont des valeurs moyennes définies dans la Note 6 de la Recommandation UIT-R F.699.

2 Résultats

En appliquant une méthodologie commune, il a été procédé à plusieurs simulations informatiques pour déterminer les valeurs de la puissance surfacique qui permettent d'atteindre les objectifs en matière de brouillage dans le service fixe. Les résultats de ces simulations sont détaillés ci-après.

Systèmes analogiques du service fixe

On a calculé les valeurs de puissance surfacique permettant de protéger des faisceaux hertziens analogiques de 2500 km centrés sur les latitudes de 15°, 40° et 60° contre les émissions de systèmes non OSG du SMS. Les calculs ont été faits pour des combinaisons de trois constellations non OSG du SMS, choisies parmi quatre systèmes représentatifs.

Dans ces analyses, on a adopté pour la puissance surfacique une valeur de base de $-150 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ pour les angles d'élévation inférieurs à 5°; la puissance surfacique croissait ensuite linéairement jusqu'à $-137 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ à 25° et conservait cette valeur pour les angles d'élévation allant jusqu'à 90°. Il a été démontré que, sauf pour une ou deux artères principales centrées sur les latitudes élevées, le gabarit $-150/-137 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ permet de protéger les faisceaux hertziens analogiques en conformité avec les valeurs données dans la Recommandation UIT-R SF.357.

Les hypothèses suivantes ont été faites pour les quatre systèmes non OSG: ces systèmes appliquaient les techniques AMRC et ils étaient tous conçus pour fonctionner sur la base du partage (même fréquence et même zone de couverture).

Systèmes numériques du service fixe

On a considéré le cas de plusieurs systèmes non OSG du SMS brouillant une station d'un faisceau hertzien numérique du type point à point, équipée d'une antenne de réception à gain élevé. On a démontré qu'il fallait adopter le gabarit suivant pour la puissance surfacique si on voulait obtenir une FDP moyenne de l'ordre de 10% avec des pointes ne dépassant guère 15% à 20%: $-162 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ pour les angles d'élévation compris entre 0° et 5°, croissant linéairement jusqu'à $-149 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ à 25° et conservant cette valeur jusqu'à un angle d'élévation de 90°. Lorsque la puissance surfacique a des valeurs suffisantes pour protéger le fonctionnement des faisceaux hertziens analogiques point à point, c'est-à-dire $-150 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ croissant jusqu'à $-137 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$, les stations des faisceaux hertziens numériques point à point subiraient une FDP moyenne de l'ordre de 160%, avec des pointes atteignant 240% et 320% et des creux pouvant s'abaisser jusqu'à 80%, selon la latitude de la station. Une FDP de 160% équivaut à une diminution d'environ 4 dB de la marge de protection contre les évanouissements.

2.1 Tendances observées

Les résultats font ressortir un certain nombre de tendances.

Le brouillage reçu peut varier très rapidement en fonction de l'azimut de pointage de l'antenne du service fixe, pour certaines constellations non OSG. Les constellations en orbite polaire ou quasi polaire peuvent aussi influencer différemment sur les divers azimuts de pointage, mais cet effet est beaucoup moins prononcé.

En règle générale, les stations du service fixe situées à des latitudes élevées subissent plus de brouillage, en fonction du temps, que les stations situées aux basses latitudes. Il en est ainsi surtout dans le cas des constellations en orbite polaire. Cependant, dans les conditions réelles d'exploitation, nous pouvons nous trouver dans l'obligation de «couper» les lobes extérieurs pour cause de chevauchement de couverture. Cela aura pour conséquence d'atténuer l'effet du brouillage.

Pour les constellations de satellites sur orbite basse, les gabarits de puissance surfacique nécessaires pour protéger le service fixe sont différents des gabarits à utiliser pour des constellations en orbite haute.

En première approximation, la décroissance des niveaux de brouillage en fonction du temps est inversement proportionnelle au carré de la fréquence de travail.

2.2 Conclusions

Choisir un gabarit unique de puissance surfacique assurant la protection du service fixe, sans pénaliser en même temps d'autres constellations du type non OSG, est une opération difficile. Si ce choix pour une constellation donnée est effectué, il y a risque d'avoir une protection insuffisante du service fixe; en effet, une autre constellation qui respecterait ces valeurs de puissance surfacique pourrait néanmoins dépasser les niveaux de brouillage du service fixe fixés comme objectifs. En d'autres termes, deux constellations non OSG différentes peuvent fonctionner avec deux gabarits de puissance surfacique différents, capables d'assurer l'un et l'autre la même protection du service fixe. Ces considérations ne s'appliquent plus lorsqu'on a affaire à un gabarit établi pour plusieurs constellations de satellites non OSG qui ont été conçues pour fonctionner sur la base du partage (même fréquence, même couverture) et qui appliquent les techniques AMRC.

Les valeurs suivantes ont été trouvées pour la puissance surfacique nécessaire pour protéger les systèmes analogiques du service fixe avec circuit fictif de référence (CFR), de 2 500 km contre les émissions simultanées de trois constellations non OSG du SMS: $-150 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ aux angles d'élévation compris entre 0° et 5° , croissant linéairement jusqu'à $-137 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ pour l'angle d'élévation de 25° . La puissance surfacique conservait cette dernière valeur au-dessus de 25° . Le brouillage causé au CFR était en accord avec les valeurs spécifiées dans la Recommandation UIT-R SF.357.

La valeur de la puissance surfacique nécessaire a été déterminée pour que la FDP (voir la Recommandation UIT-R F.1108) ne dépasse pas 10% environ. Le résultat est le suivant: cette valeur de puissance surfacique est plus contraignante (différence de 9 à 10 dB environ) que les valeurs nécessaires pour protéger le fonctionnement des systèmes analogiques du service fixe. Si ces valeurs plus basses étaient adoptées, cela pourrait nuire à la mise en œuvre de systèmes non OSG du SMS viables.

La conclusion suivante en a été tirée: le meilleur moyen de réaliser le partage avec ces systèmes serait d'adopter pour la puissance surfacique des valeurs qui donneraient certes une FDP supérieure à 10%, par exemple, mais qui ne pénaliseraient pas outre mesure la conception et l'exploitation des systèmes du service fixe, ni des systèmes non OSG du SMS dans la bande 2 483,5-2 500 MHz.

Annexe 2

Partage des bandes de fréquences dans la gamme 1-3 GHz entre les stations d'émission du service fixe et les stations spatiales non OSG (Terre vers espace) du SMS

1 Introduction

Il est apparu nécessaire d'étudier le scénario de partage entre les stations d'émission du service fixe et les récepteurs des stations spatiales non OSG du SMS, dans les bandes de fréquences attribuées au SMS pour les liaisons Terre vers espace entre 1 et 3 GHz, c'est-à-dire les bandes 1 610-1 626,5 MHz, 1 668-1 675 MHz, 1 970-2 010 MHz et 2 655-2 690 MHz. Cependant, seul a été étudié le partage dans les bandes 1 610-1 626,5 MHz et 1 970-2 010 MHz, car ces bandes sont d'un intérêt immédiat pour la mise en œuvre de systèmes non OSG du SMS. Aucune information n'a été reçue en ce qui concerne les autres bandes. Le scénario de partage spécifique entre des liaisons à diffusion troposphérique du service fixe et des systèmes non OSG du SMS a été étudié. Outre les études sur le partage, des indications seront fournies sur les options possibles en matière de réglementation pour les systèmes du service fixe.

Les études de partage ont montré qu'il serait généralement impossible d'exploiter dans le même canal les stations d'émission du nouveau service fixe et les récepteurs des stations spatiales non OSG du SMS, cela dans la bande 1 980-2 010 MHz.

Des études de partage effectuées dans la bande 1 610-1 626,5 MHz (voir le numéro 5.359 du RR) ont montré que la diminution de capacité d'écoulement du trafic pourrait être acceptable dans les cas des très faibles densités d'implantation (par exemple, une station dans 230 000 km²).

Il existerait une possibilité d'améliorer les conditions de partage: réduire considérablement les valeurs limites admissibles de la p.i.r.e. indiquées dans l'Article 21 du RR pour les émetteurs du service fixe. Ces valeurs dépendent étroitement des hypothèses relatives à la densité des émetteurs du nouveau service fixe; elles seraient spécifiées, en fait, dans l'hypothèse d'une valeur élevée de cette densité. Il en résulterait des limites extrêmement strictes pour les stations du nouveau service fixe, ce qui risquerait de compliquer l'exploitation de ces stations.

Cela étant, il n'a pas été établi de critères spécifiques pour faciliter le partage au point de vue technique.

2 Simulation du brouillage causé par des liaisons du service fixe à des récepteurs de satellite du SMS

2.1 Liaisons point à point du service fixe

Les études ont porté sur le brouillage causé par des émetteurs multiples types du service fixe (environ 6 000 dans le monde entier) à des récepteurs de stations spatiales non OSG du SMS (orbite terrestre à altitude moyenne) dans la bande 1 980-2 010 MHz. Ces études ont montré que les récepteurs seraient exposés à un brouillage inacceptable. Le critère *C/I* de brouillage équivalent admis par hypothèse comme objectif n'était pas satisfait pendant près de 100% du temps. En se fondant sur cette étude, il est possible de conclure qu'il serait impossible de réaliser le partage d'un même canal avec les liaisons montantes du SMS à destination de satellites non OSG du SMS dans certaines parties de la bande 1 980-2 010 MHz qui sont, ou restent, largement utilisées par le service fixe. Il y a lieu de noter ce qui suit: une évaluation préliminaire, fondée sur des

interpolations de données relatives à l'utilisation effective du service fixe dans plusieurs pays, a montré que le nombre des émetteurs du service fixe en fonctionnement point à point pourrait être supérieur à la valeur adoptée dans l'étude précitée. De ce fait, le niveau de brouillage pourrait être encore plus élevé.

D'autres études ont porté sur le brouillage causé par des émetteurs multiples types du service fixe (au nombre de 700 à 3 000 dans le monde entier) à des récepteurs de stations spatiales non OSG du SMS (sur orbite terrestre basse) dans la bande 1 610-1 626,5 MHz. Ces études ont montré que la diminution de capacité d'écoulement du trafic ne pourrait être acceptable que dans le cas des très faibles densités d'implantation du service fixe (par exemple, une station dans 230 000 km²).

2.2 Liaisons à diffusion troposphérique du service fixe

Dans le cas du partage entre les systèmes à diffusion troposphérique du service fixe et les systèmes non OSG du SMS (orbite terrestre à altitude moyenne), une étude a montré l'impossibilité du partage dans un même canal. Dans le faisceau principal d'un émetteur à diffusion troposphérique délivrant sa puissance de sortie maximale, le récepteur d'un satellite du SMS pourrait être exposé à des niveaux de brouillage pouvant dépasser de 60 dB la valeur tolérable. Les niveaux de brouillage tolérables seraient même dépassés dans les lobes latéraux. Il faudrait donc retirer ces systèmes du service s'il était décidé de mettre en œuvre le système non OSG du SMS dans certaines parties des bandes de fréquences occupées par les systèmes à diffusion troposphérique.

3 Conclusions

3.1 En faisant fonctionner en mode cocanal les stations d'émission du service fixe, dans la bande 1 980-2 010 MHz, on causera des brouillages inacceptables aux récepteurs des stations spatiales non OSG du SMS.

3.2 Pour les systèmes du service fixe fonctionnant dans la bande 1 610-1 626,5 MHz (numéro 5.359 du RR), la diminution de la capacité d'écoulement du trafic pour un système non OSG du SMS ne pourrait être acceptable que dans le cas de très faibles densités d'implantation du service fixe (par exemple, une station dans 230 000 km²).

3.3 Compte tenu de ces difficultés de partage, il n'a pas été établi de critères spécifiques pour faciliter le partage au point de vue technique.
