

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R F.1403
(05/1999)

**Critères de puissance surfacique spécifiés
dans les Recommandations UIT-R pour la
protection des systèmes du service fixe
fonctionnant dans des bandes de fréquences
partagées avec des stations spatiales
de divers services spatiaux**

Série F
Service fixe



Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

| Séries | Titre |
|------------|--|
| BO | Diffusion par satellite |
| BR | Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision |
| BS | Service de radiodiffusion sonore |
| BT | Service de radiodiffusion télévisuelle |
| F | Service fixe |
| M | Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés |
| P | Propagation des ondes radioélectriques |
| RA | 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 | Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires |
| V | Vocabulaire et sujets associés |

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2010

© UIT 2010

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 F.1403

Critères de puissance surfacique spécifiés dans les Recommandations UIT-R pour la protection des systèmes du service fixe fonctionnant dans des bandes de fréquences partagées avec des stations spatiales de divers services spatiaux

(Questions UIT-R 111/9, UIT-R 113/9, UIT-R 118/9 et UIT-R 201/9)

(1999)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que le service fixe partage à titre coprimaire de nombreuses bandes de fréquences avec des services de radiocommunications spatiales tels que le service fixe par satellite (SFS), le service de radiodiffusion par satellite (SRS), le service mobile par satellite (SMS) et les services scientifiques spatiaux;
- b) que des critères relatifs à la puissance surfacique produite à la surface de la Terre par des stations spatiales du service spatial ont été définis pour contrôler le brouillage causé aux systèmes du service fixe dans les bandes de fréquences partagées avec les services spatiaux dans le sens espace-Terre;
- c) que ces critères sont généralement exprimés sous forme de limites strictes de la puissance surfacique produite par les stations spatiales et, lorsque cela n'est pas possible, sous forme de seuils de coordination;
- d) que dans certains cas d'évaluation du brouillage causé par des satellites non géostationnaires (non OSG) aux systèmes numériques du service fixe dans la gamme de fréquences 1-3 GHz, les seuils de coordination ont été exprimés en termes de dégradation relative de la qualité de fonctionnement (FDP, *fractional degradation in performance*);
- e) que divers critères de puissance surfacique ont été établis depuis 1963 lorsque certaines bandes de fréquences ont été attribuées pour la première fois en partage entre le service fixe et le SFS;
- f) que certaines méthodes d'évaluation du brouillage ont été mises au point pour déterminer les critères de puissance surfacique appropriés;
- g) qu'il est primordial d'examiner les principes et les conseils inclus dans ces méthodes,

recommande

1 qu'il soit fait référence aux Recommandations suivantes pour les limites de puissance surfacique imposées aux stations spatiales du SFS (principalement géostationnaires (OSG)):

SF.358 Valeurs maximales admissibles de la puissance surfacique produite à la surface de la Terre par des satellites du service fixe par satellite utilisant les mêmes bandes de fréquences que les faisceaux hertziens en visibilité directe au-dessus de 1 GHz

SF.1005 Partage des fréquences entre le service fixe et le service fixe par satellite avec utilisation bidirectionnelle dans les bandes supérieures à 10 GHz actuellement attribuées pour utilisation unidirectionnelle

SF.1008 Possibilités d'utilisation par des stations spatiales du service fixe par satellite d'orbites légèrement inclinées par rapport à l'orbite des satellites géostationnaires dans des bandes utilisées en partage avec le service fixe

SF.1573 Valeurs maximales admissibles de la puissance surfacique produite à la surface de la Terre par des satellites géostationnaires du service fixe par satellite fonctionnant dans la bande 37,5-42,5 GHz afin de protéger le service fixe

2 qu'il soit fait référence aux Recommandations UIT-R suivantes pour les limites de puissance surfacique imposées aux stations spatiales du SFS non OSG utilisées pour les liaisons de connexion des systèmes du SMS:

SF.1320 Valeurs maximales admissibles de puissance surfacique produite à la surface de la Terre par des satellites non géostationnaires du service fixe par satellite utilisés pour des liaisons de connexion du service mobile par satellite et partageant certaines bandes de fréquences avec des faisceaux hertziens

SF.1482 Valeurs maximales admissibles de la puissance surfacique produite à la surface de la Terre par des satellites non OSG du service fixe par satellite (SFS) fonctionnant dans la bande 10,7-12,75 GHz

SF.1483 Valeurs maximales admissibles de la puissance surfacique produite à la surface de la Terre par des satellites non OSG du service fixe par satellite (SFS) fonctionnant dans la bande 17,7-19,3 GHz

SF.1484 Valeurs maximales admissibles de la puissance surfacique produite à la surface de la Terre par des satellites non géostationnaires du service fixe par satellite fonctionnant dans la bande 37,5-42,5 GHz afin de protéger le service fixe

3 qu'il soit fait référence aux Recommandations UIT-R suivantes pour les limites de puissance surfacique imposées aux stations spatiales des services scientifiques spatiaux dans les bandes des 2 GHz:

SA.1273 Puissance surfacique rayonnée par les services de recherche spatiale, d'exploitation spatiale et d'exploitation de la Terre par satellite à la surface de la Terre propres à protéger le service fixe dans les bandes 2 025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz

F.1502 Protection du service fixe partageant la bande de fréquences 8 025-8 400 MHz avec les systèmes à satellites géostationnaires du service d'exploration de la Terre par satellite (espace vers Terre)

4 qu'il soit fait référence aux Recommandations UIT-R suivantes pour les seuils de coordination en cas d'assignation de fréquence à des stations spatiales SMS OSG et non OSG dans la gamme de fréquences 1-3 GHz:

M.1141 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

M.1142 Partage dans la gamme de fréquences 1-3 GHz entre les stations spatiales géostationnaires du service mobile par satellite et les stations du service fixe

- M.1143** Méthodologie spécifique au système pour la coordination des stations spatiales non géostationnaires (espace-Terre) du service mobile par satellite avec les systèmes du service fixe
- F.1246** Largeur de bande de référence des stations de réception du service fixe, à utiliser pour la coordination des assignations de fréquence avec les stations spatiales d'émission du service mobile par satellite dans la gamme 1-3 GHz
- 5** qu'il soit fait référence à la Recommandation UIT-R suivante pour les seuils de coordination en cas d'assignation de fréquence aux stations spatiales du SRS (sonore) dans la bande 1 452-1 492 MHz:
- F.1338** Seuils pour déterminer la nécessité de procéder à une coordination entre des systèmes particuliers du service de radiodiffusion par satellite (sonore), utilisant l'orbite des satellites géostationnaires pour des émissions dans le sens espace-Terre et le service fixe dans la bande 1 452-1 492 MHz
- 6** qu'il soit fait référence aux Recommandations UIT-R suivantes pour la méthode d'évaluation du brouillage causé par les stations spatiales OSG et non OSG aux systèmes du service fixe:
- F.1107** Méthodes probabilistes permettant de calculer les brouillages causés au service fixe par des satellites en orbite géostationnaire
- F.1108** Détermination des critères nécessaires à la protection des récepteurs du service fixe des émissions de stations spatiales opérant sur des orbites non géostationnaires dans des bandes de fréquences partagées
- SF.1572** Méthode permettant d'évaluer l'incidence des brouillages espace vers Terre causés par des systèmes du service fixe par satellite à des systèmes du service fixe dans des bandes de fréquences où les précipitations sont la principale cause des évanouissements
- SF.1602** Méthode de détermination des statistiques de puissance surfacique à utiliser dans les études de partage entre systèmes hertziens fixes et plusieurs satellites du service fixe par satellite
- 7** qu'il soit fait référence à l'Annexe 1 pour l'évolution historique des critères de puissance surfacique spécifiés dans les Recommandations UIT-R pour la protection des systèmes du service fixe fonctionnant dans des bandes de fréquences partagées avec des stations spatiales de divers services spatiaux, les éléments indiqués pouvant servir d'orientation pour les études qui seront ultérieurement menées sur les critères de puissance surfacique dans diverses situations de partage.

Annexe 1

Evolution historique des critères de puissance surfacique spécifiés dans les Recommandations UIT-R pour la protection des systèmes du service fixe

1 Introduction

La puissance surfacique produite à la surface de la Terre par des stations spatiales est un important facteur qu'il est nécessaire d'examiner pour protéger les systèmes du service fixe des émissions des stations spatiales partageant les mêmes bandes de fréquences. De nombreuses Recommandations UIT-R traitant de ce sujet ont été élaborées depuis 1963.

Certaines Recommandations imposent des limites strictes à la puissance surfacique, ce qui facilite le partage des fréquences, une coordination séparée n'étant pas nécessaire. Dans certains cas cependant, il est difficile d'établir des limites strictes car il est impossible de définir des limites strictes qui protègent correctement le service fixe sans imposer de contraintes excessives dans la conception des systèmes utilisés dans les services spatiaux. Dans ces cas, les Recommandations présentent des seuils de coordination et, si la puissance surfacique dépasse ces seuils, il est nécessaire de procéder à une coordination séparée avec les administrations affectées.

Outre la puissance surfacique, la notion de FDP a été introduite dans la Recommandation UIT-R F.1108 pour évaluer l'incidence du brouillage causé au service fixe par des satellites non OSG.

La présente Annexe présente l'évolution historique des critères de puissance surfacique adoptés dans diverses Recommandations UIT-R, dont un grand nombre a été incorporé dans le Règlement des radiocommunications (RR).

2 Limites de puissance surfacique imposées aux stations spatiales du SFS

Les limites de puissance surfacique imposées aux stations spatiales du SFS sont indiquées dans la Recommandation UIT-R SF.358, dont la première version a été élaborée en 1963. Il a fallu plus de vingt ans pour que la version finale de cette Recommandation soit presque achevée. Elle est applicable tant aux stations spatiales OSG qu'aux stations spatiales non OSG. Il convient de noter cependant que seul un nombre limité de stations spatiales non OSG ont été prises comme hypothèse pour confirmer l'applicabilité de cette Recommandation. Par conséquent, la Recommandation UIT-R SF.358 devrait être considérée comme applicable principalement aux stations spatiales OSG et une étude séparée est nécessaire si de nombreuses stations spatiales non OSG sont concernées (voir, par exemple, la Recommandation UIT-R SF.1320).

Un historique détaillé de la Recommandation UIT-R SF.358 figure à l'Appendice 1 de l'Annexe 1.

3 SFS en bande bidirectionnelle et utilisation par les stations spatiales du SFS d'orbites légèrement inclinées par rapport à l'OSG

La coexistence du service fixe et du SFS avait été prévue par la Conférence administrative extraordinaire des radiocommunications (CAER) (1963) pour les émissions unidirectionnelles du SFS et pour les stations spatiales OSG. En conséquence, le brouillage admissible causé par le SFS n'avait pratiquement pas varié avec le temps, sauf en ce qui concerne les anomalies de propagation, et provenait des stations spatiales ou terriennes d'émission.

Cependant, pour accroître la capacité du SFS et la longévité du segment spatial, il a été envisagé d'utiliser des fréquences additionnelles dans la transmission bidirectionnelle, l'utilisation d'orbites légèrement inclinées ayant également été étudiée en vue d'économiser le propergol et de prolonger la durée de vie utile des stations spatiales.

Le prix à payer pour les avantages qu'apporte au SFS l'utilisation de fréquences additionnelles en transmission bidirectionnelle est l'augmentation, en nombre, des sources de brouillage à la fois pour le service fixe et pour le SFS, l'utilisation d'orbites légèrement inclinées entraînant le risque d'un accroissement du nombre de récepteurs fixes exposés à un brouillage quasi direct des stations spatiales d'émission.

3.1 Recommandation UIT-R SF.1005 (Genève, 1993)

Les critères de partage définis par la CAER (1963) supposaient que le brouillage admissible global occasionné au modèle de circuit fictif de référence était faible par rapport au bruit total du système et qu'il pouvait en fait être accepté dans le bilan de bruit total des systèmes existants sans qu'il soit nécessaire de modifier les systèmes déjà déployés dans le monde. En l'occurrence, il était possible de limiter le brouillage admissible causé par les stations spatiales d'émission aux récepteurs fixes en contrôlant la puissance surfacique produite à la surface de la Terre et il était possible de contrôler le brouillage émanant des stations terriennes d'émission en limitant la p.i.r.e. à l'horizon. Les limites de la puissance surfacique et de la p.i.r.e. pouvaient satisfaire à l'hypothèse d'un faible brouillage admissible, mais permettaient un développement effectif du SFS utile à la technologie satellitaire dans le monde entier.

Le recours à la transmission bidirectionnelle par le SFS accroît le nombre de sources de brouillage; en conséquence, l'hypothèse selon laquelle le brouillage admissible émanant du SFS devrait être faible ne pouvait pas être maintenue sans que des restrictions additionnelles soient imposées au SFS. Les restrictions additionnelles définies par l'UIT-R dans la Recommandation UIT-R SF.1005 (fondée sur le Rapport 1005 de l'ex-CCIR élaboré en 1986) intitulée «Partage des fréquences entre le service fixe et le service fixe par satellite avec utilisation bidirectionnelle dans les bandes supérieures à 10 GHz actuellement attribuées pour utilisation unidirectionnelle» exigeaient que le fonctionnement bidirectionnel soit limité pour les fréquences supérieures à 10 GHz; la puissance surfacique pour des angles d'incidence de moins de 5° au-dessus de l'horizon et le brouillage émanant des stations terriennes d'émission devaient être réduits de 7 dB, 5 dB et 3 dB pour les bandes de fréquences 10-15,4 GHz, 15,4-20 GHz et supérieures à 20 GHz respectivement; les limites de la puissance surfacique indiquées au Tableau 1 de la Recommandation UIT-R SF.358 devaient continuer à s'appliquer pour les angles d'incidence supérieurs à 25°.

L'utilisation bidirectionnelle peut être introduite avec un plus faible brouillage pour le service fixe à condition que le SFS utilise des stations terriennes d'émission ayant des angles d'élévation élevés (supérieurs à 40°) et des faisceaux étroits d'environ 2° et ne fasse pas un usage considérable des satellites OSG.

3.2 Recommandation UIT-R SF.1008 (Genève, 1994)

Le SFS et le service fixe coexistent avec succès depuis trois décennies, principalement en ce qui concerne les stations spatiales occupant leur position nominale sur l'OSG. Il est peu probable qu'un récepteur du service fixe coupe l'OSG et bien moins probable encore qu'une station spatiale d'émission occupe cette position orbitale. En conséquence, le brouillage global qui devrait être causé au modèle de faisceaux hertziens provient essentiellement d'une seule exposition quasi directe et du brouillage dans les lobes secondaires provenant du reste des stations spatiales visibles sur l'OSG.

Toutefois, le maintien des stations spatiales à leur position orbitale nominale entraîne une consommation de propergol et, en particulier, un volume important de propergol est nécessaire pour le maintien en position nord-sud. En fait, la durée de vie du segment spatial peut être déterminée en fonction du propergol disponible. Un relâchement du maintien en position nord-sud pourrait prolonger la durée de vie des stations spatiales, mais il en découlerait une inclinaison de l'orbite qui ferait qu'un plus grand nombre de récepteurs de Terre serait exposé à un brouillage quasi direct même si l'exposition ne durait qu'une fraction d'une période de 24 h; le brouillage moyen total du modèle de circuit fictif de référence pourrait ne pas s'accroître.

La fraction d'une période de 24 h pendant laquelle le récepteur de Terre est exposé à un brouillage dans le lobe principal entraînera une diminution notable de la marge au-dessus du bruit thermique contre les évanouissements et pendant cette période, le récepteur sera soumis à des évanouissements peu profonds, non dispersifs et variant lentement. Ces évanouissements peuvent se produire assez souvent pour entraîner une indisponibilité du récepteur affecté pendant un laps de temps inacceptable. La Recommandation UIT-R SF.615 énonce les objectifs concernant l'indisponibilité du réseau pour l'ensemble des sources de brouillage, l'indisponibilité prévue pour quelques récepteurs exposés étant plus de 10 fois supérieure aux objectifs susmentionnés. En conséquence, il sera nécessaire de repositionner les récepteurs soumis à un brouillage dans le lobe principal pour préserver la qualité de fonctionnement du système.

La Recommandation UIT-R SF.1008 intitulée «Possibilités d'utilisation par des stations spatiales du service fixe par satellite d'orbites légèrement inclinées par rapport à l'orbite des satellites OSG dans des bandes utilisées en partage avec le service fixe» limite l'inclinaison à moins de 5° sans imposer de restriction supplémentaire au SFS. La légère inclinaison de l'orbite limite le nombre des récepteurs de Terre additionnels exposés à un brouillage dans le lobe principal et même si le nombre de stations affectées s'accroît avec la latitude, le nombre des récepteurs exposés à des latitudes aussi élevées que 60° est limité à quelques-uns pour un système à 50 bonds. Toutefois, pour des inclinaisons supérieures à 5°, le nombre des stations affectées augmente de façon linéaire et un recul du niveau de la puissance surfacique est recommandé, ce recul augmentant de façon linéaire entre 5° et 10° d'inclinaison pour atteindre un recul maximum de 20 dB à une inclinaison de 10°.

Enfin, l'inclinaison de l'orbite peut être définie au stade de la planification du satellite et un satellite peut être placé sur une orbite inclinée de telle sorte que l'on puisse prolonger au maximum sa durée de vie tout en réduisant au minimum l'inclinaison, et donc réduire l'incidence sur le service fixe et la nécessité de procéder à des opérations de poursuite.

4 Limites de puissance surfacique imposées aux stations spatiales du SRS dans la bande des 12 GHz

En 1977, la Conférence administrative mondiale des radiocommunications pour la radiodiffusion par satellite (CAMR SAT-77) a établi le Plan des Régions 1 et 3 pour le SRS dans les bandes de fréquences 11,7-12,2 GHz (dans la Région 3) et 11,7-12,5 GHz (dans la Région 1). La Conférence administrative régionale des radiocommunications de 1983 (CARR-83) a établi le Plan de la Région 2 pour le SRS dans la bande de fréquences 12,2-12,7 GHz. Le Plan spécifiait divers paramètres concernant les stations spatiales du SRS. Ces bandes de fréquences sont partagées avec le service fixe. Il est donc nécessaire, lorsque l'on planifie des systèmes du service fixe, de prendre dûment en compte le Plan établi pour le SRS et de ne pas causer de brouillage préjudiciable aux stations terriennes de réception du SRS.

Toute modification du Plan établi pour le SRS entraîne le risque qu'une station spatiale du SRS placée à une nouvelle position orbitale ou à laquelle de nouvelles fréquences ont été attribuées cause un brouillage inacceptable aux systèmes existants du service fixe. C'est pour cette raison que l'Annexe 1 de l'Appendice 30 du RR impose des limites à la puissance surfacique pour protéger les services de Terre dans les trois Régions.

5 Nouvelles attributions de fréquences par la CAMR-92 à divers services de radiocommunications spatiales

La CAMR-92 s'est tenue en 1992 à Malaga-Torremolinos pour traiter des attributions de fréquences dans certaines parties du spectre. Elle a attribué de nombreuses bandes de fréquences à divers services de radiocommunications spatiales en partage avec le service fixe. Elle a défini des situations de partage de fréquences très complexes et a invité l'UIT-R à entreprendre d'urgence des études en vue d'établir les critères de partage applicables.

5.1 Attribution au SRS de fréquences proches de 20 GHz pour la télévision à haute définition (TVHD)

La CAMR-92 a attribué la bande 21,4-22 GHz dans les Régions 1 et 3 au SRS en partage avec le service fixe et la bande 17,3-17,8 GHz dans la Région 2 au SRS, la bande 17,7-17,8 GHz étant partagée avec le service fixe. Ces attributions au SRS prendront effet à partir du 1^{er} avril 2007 (voir les numéros 5.517 et 5.530 du RR).

La Résolution 525 (CAMR-92) énonce les conditions d'utilisation par le SRS de la bande 21,4-22 GHz dans les Régions 1 et 3 après la date susmentionnée et à titre intérimaire avant cette date. Elle indique, sous forme de seuils de coordination, les valeurs de la puissance surfacique produite à la surface de la Terre par les émissions d'une station spatiale d'un système opérationnel du SRS (TVHD) mis en œuvre avant le 1^{er} avril 2007. Ces valeurs sont identiques à celles qui ont été énoncées dans la Recommandation UIT-R F.760 élaborée par la Commission d'études 9 des radiocommunications juste avant la CAMR-92.

La Recommandation UIT-R F.760 étudie le brouillage causé à un récepteur MAQ-64 du service fixe à l'intérieur du lobe principal à de faibles angles d'arrivée et le brouillage en dehors du lobe principal à des angles d'arrivée élevés. Après avoir examiné la corrélation entre les évanouissements dus à la pluie du signal utile et du signal brouilleur, la Recommandation établit les valeurs proposées pour la puissance surfacique. Cela a été le premier cas dans lequel les valeurs définies dans une Recommandation UIT-R ont été incorporées, sous forme de seuils de coordination, dans une Résolution jointe au RR.

5.2 Attribution au SRS (sonore) de fréquences dans la gamme de fréquences 1-3 GHz

La CAMR-92 a attribué à l'échelle mondiale au SRS (sonore) la bande 1 452-1 492 MHz (sauf pour une administration, voir le numéro 5.344 du RR). En outre, les bandes 2 310-2 360 MHz et 2 535-2 655 MHz ont également été attribuées au SRS (sonore) pour exploitation dans certains pays (voir les numéros 5.393 et 5.418 du RR). Ces bandes sont également partagées avec le service fixe.

La CAMR-92 n'a pas adopté de seuils de coordination pour les valeurs de la puissance surfacique produite par les stations spatiales du SRS (sonore) à utiliser en coordination avec le service fixe. La Résolution 522 (CAMR-92) a invité l'UIT-R à étudier les critères de partage applicables entre les systèmes du SRS (sonore) et les systèmes d'autres services partageant les mêmes bandes de fréquences.

5.3 Attribution au SMS de fréquences dans la gamme de fréquences 1-3 GHz

La CAMR-92 a attribué un certain nombre de bandes de fréquences dans la gamme 1-3 GHz au SMS (Terre-espace et espace-Terre) en partage avec le service fixe. Elle a examiné quelles valeurs de puissance surfacique étaient appropriées dans les bandes attribuées au SMS (espace-Terre) pour protéger le service fixe. Il a été reconnu qu'il n'était pas possible de déterminer une limite de puissance surfacique appropriée qui protégerait correctement le service fixe tout en évitant d'imposer des contraintes excessives dans la conception des systèmes du SMS. La CAMR-92 a donc décidé d'établir des seuils de coordination au lieu de définir des limites de puissance surfacique.

En l'absence d'une Recommandation UIT-R traitant de cette question, il a été difficile pour la CAMR-92 d'établir des seuils de coordination appropriés. Après de longs débats, elle est parvenue à une conclusion provisoire selon laquelle dans les bandes attribuées au SMS (espace-Terre), la coordination des stations spatiales du SMS par rapport aux services de Terre n'est nécessaire que si la puissance surfacique produite à la surface de la Terre dépasse les limites définies dans le numéro 21.16 du RR (3 400-7 850 MHz). Dans ce contexte, le numéro 21.16 désigne les limites de puissance surfacique imposées aux stations spatiales du SFS dans la bande 3-8 GHz ($-152 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ et $-142 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$, dans une bande de 4 kHz, pour des petits et des grands angles d'arrivée respectivement).

En même temps, la Recommandation 717 (CAMR-92) a invité l'UIT-R à entreprendre d'autres études sur les critères de partage de fréquences entre le SMS et le service fixe et d'autres services de Terre.

5.4 Attribution de fréquences aux services scientifiques spatiaux

Avant la CAMR-92, les bandes 2025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz avaient été attribuées aux services scientifiques spatiaux par un renvoi du Tableau d'attribution des bandes de fréquences qui figure dans le RR. L'attribution était assujettie à un accord conclu selon la procédure énoncée à l'article 14 du RR (édition de 1994). La CAMR-92 a supprimé la prescription de l'article 14 et a remplacé cette attribution par renvoi par une attribution primaire dans le Tableau d'attribution des bandes de fréquences. Dans le Tableau révisé, la bande 2025-2 110 MHz est attribuée aux services d'exploitation spatiale, d'exploration de la Terre par satellite et de recherche spatiale (Terre-espace et espace-espace) et la bande 2 200-2 290 MHz est attribuée aux services d'exploitation spatiale, d'exploration de la Terre par satellite et de recherche spatiale (espace-Terre et espace-espace). Les deux bandes sont partagées avec le service fixe.

La CAMR-92 a attribué aux services scientifiques spatiaux des bandes additionnelles comprenant la bande 25,25-27,5 GHz attribuée au service intersatellites en partage avec le service fixe.

La CAMR-92 a conservé les limites de puissance surfacique imposées avant la Conférence aux stations spatiales fonctionnant dans les bandes 2025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz pour protéger le service fixe ($-154 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ et $-144 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une bande de 4 kHz pour de petits et de grands angles d'arrivée respectivement). Pour la bande 25,25-27,5 GHz, il a été appliqué la même limite de puissance surfacique que celle qui est imposée aux stations spatiales du SFS dans la bande 17,7-19,7 GHz ($-115 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ et $-105 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$, dans une bande de 1 MHz, pour de petits et de grands angles d'arrivée respectivement).

6 Méthode d'évaluation du brouillage

La CAMR-92 a défini plusieurs nouvelles attributions de fréquences aux services spatiaux, qui ont imposé la nécessité d'établir des critères de partage visant à protéger les stations du service fixe contre les émissions des stations spatiales partageant les mêmes bandes de fréquences. Les Recommandations UIT-R F.1107 et UIT-R F.1108 ont été élaborées pour présenter une méthode d'évaluation du brouillage occasionné au service fixe par des stations OSG et non OSG respectivement.

6.1 Recommandation UIT-R F.1107 (Genève, 1994)

La Recommandation UIT-R F.1107 présente des paramètres géométriques et des méthodes permettant de calculer la puissance brouilleuse totale au niveau du récepteur du service fixe émise par des stations spatiales OSG. La méthode de calcul est fondée sur l'approche adoptée depuis de nombreuses années pour l'élaboration de la Recommandation UIT-R SF.358, qui avait défini les limites de puissance surfacique imposées aux stations spatiales du SFS.

Un certain nombre de satellites sont supposés fonctionner sur l'OSG avec un espacement uniforme. Ils sont supposés produire à la surface de la Terre la puissance surfacique maximale autorisée par un gabarit de puissance surfacique théorique. Des simulations par ordinateur permettent d'évaluer le brouillage global, la méthode de Monte Carlo étant appliquée pour produire des applications de service représentatives. Le réseau du service fixe est supposé être composé de 50 bonds répartis de façon aléatoire dans une zone comprise approximativement entre 65° de longitude et 22,5° de latitude. Tous les récepteurs ont les mêmes température de bruit, caractéristiques d'antenne et espacement.

Les calculs effectués sur de nombreux trajets du service fixe laissent apparaître une distribution des brouillages. En cas de brouillage causé à des systèmes analogiques du service fixe, le brouillage global ne devrait pas dépasser 1 000 pW sauf pour un faible pourcentage (généralement 10%). Un programme informatique est joint à cette Recommandation.

6.2 Recommandation UIT-R F.1108 (Genève, 1994)

La Recommandation UIT-R F.1108 indique une méthode permettant de déterminer les critères nécessaires à la protection des récepteurs du service fixe des émissions de stations spatiales opérant sur des orbites non OSG dans des bandes de fréquences partagées. Des paramètres géométriques sont donnés pour les satellites non OSG opérant sur des orbites circulaires. Les paramètres orbitaux des satellites sont l'altitude de l'orbite, le nombre de plans orbitaux satellitaires, la longitude du noeud ascendant pour chaque plan, l'inclinaison de l'orbite et le nombre de satellites par plan. Les brouillages causés aux trajets du service fixe sont évalués au moyen de simulations par ordinateur appliquant la méthode de Monte Carlo.

En cas de simulation du brouillage occasionné aux trajets analogiques du service fixe, le modèle de système du service fixe est le suivant: 50 bonds, trajet de 2 500 km, les directions des bonds étant choisies selon la méthode de Monte Carlo. La Recommandation UIT-R SF.357 définit les niveaux limites de brouillage que peut subir un système analogique du service fixe sur de longues et de courtes durées.

Un nouveau concept, celui de la FDP, a été introduit pour évaluer le brouillage causé par des stations spatiales non OSG à des systèmes numériques du service fixe. La FDP est la moyenne du rapport brouillage/bruit thermique dans lequel la sommation couvre l'ensemble des causes de brouillage. La Recommandation établit une équivalence entre cette moyenne et la FDP des systèmes numériques lorsque les évanouissements dus à la propagation par trajets multiples sont la cause principale des dégradations. Une autre formule permettant d'évaluer la FDP a été appliquée pour déterminer les effets du brouillage sur les récepteurs numériques fonctionnant en mode diversité. Cette formule a été appliquée pour la première fois lors de l'élaboration de la Recommandation UIT-R SF.1320, qui traite des limites de puissance surfacique imposées aux stations spatiales dans des réseaux de liaison de connexion SMS non OSG. Elle a été ultérieurement incluse dans l'Annexe 4 de la Recommandation UIT-R F.1108.

7 Seuils de coordination pour le SMS dans la gamme de fréquences 1-3 GHz

En 1992 et en 1995, la Commission d'études 2 (Groupe d'action 2/2) a étudié la question du partage des fréquences entre le SMS et le service fixe dans la gamme de fréquences 1-3 GHz. Il en a découlé l'élaboration des Recommandations UIT-R IS.1141, UIT-R IS.1142 et UIT-R IS.1143, approuvées en 1995. La Commission d'études 2 ayant été supprimée en 1995, l'étude a été poursuivie par un groupe mixte de Rapporteurs des Commissions d'études 8 et 9 des radio-communications, le résultat étant les Recommandations UIT-R révisées M.1141, UIT-R M.1142 et UIT-R M.1143 et la nouvelle Recommandation UIT-R F.1246 élaborée en 1997.

7.1 Recommandation UIT-R M.1141

La méthode indiquée dans la Recommandation UIT-R F.1108 a été appliquée pour l'évaluation du brouillage causé par des stations spatiales SMS non OSG aux systèmes du service fixe dans diverses bandes de fréquences de la gamme 1-3 GHz. En conséquence, il a été confirmé que les seuils de coordination adoptés à titre provisoire par la CAMR-92 étaient applicables à certaines bandes de fréquences partagées avec des systèmes analogiques du service fixe. Des seuils de coordination quelque peu plus élevés ont été adoptés pour d'autres bandes de fréquences.

Par ailleurs, une FDP de 25% a été adoptée principalement comme seuil de coordination concernant le partage avec les systèmes numériques du service fixe.

L'analyse fait ressortir plusieurs tendances comme établi ci-après:

- le brouillage moyen reçu peut être fortement tributaire de l'azimut de pointage de l'antenne du service fixe pour certaines constellations non OSG. Pour les constellations avec orbites polaires ou quasi polaires, l'effet des azimuts de pointage de l'antenne du service fixe 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 avec orbites polaires. Cependant, dans les conditions réelles d'exploitation, il peut être nécessaire de réduire les émissions produites par les satellites pour cause de chevauchement de couvertures, ce qui aura pour conséquence d'atténuer l'effet du brouillage.

La Recommandation UIT-R IS.1141, approuvée en 1995, définit les critères de seuil de coordination applicables au partage de fréquences entre les systèmes SMS non OSG (espace-Terre) et le service fixe dans la gamme de fréquences 1-3 GHz et a été rebaptisée Recommandation UIT-R M.1141 en 1997.

7.2 Recommandation UIT-R M.1142

La méthode énoncée dans la Recommandation UIT-R F.1107 a été appliquée pour évaluer le brouillage causé par des stations spatiales SMS OSG aux systèmes du service fixe dans diverses bandes de fréquences de la gamme 1-3 GHz. En conséquence, il a été confirmé que les seuils de coordination adoptés à titre provisoire par la CAMR-92 étaient applicables à diverses bandes de fréquences de la gamme 1-3 GHz utilisées en partage avec des systèmes du service fixe, sauf en ce qui concerne la bande 2 520-2 535 MHz pour laquelle un seuil plus bas est recommandé.

La Recommandation UIT-R IS.1142, approuvée en 1995, définit les critères de seuil de coordination applicables au partage de fréquences entre les systèmes SMS OSG (espace-Terre) et le service fixe dans la gamme de fréquences 1-3 GHz et a été rebaptisée Recommandation UIT-R M.1142 en 1997. L'Annexe 1 de la Recommandation présente des considérations relatives aux systèmes du service fixe susceptibles de faciliter la réussite de la coordination.

7.3 Recommandation UIT-R M.1143

Il est nécessaire de calculer la FDP pour appliquer la Recommandation UIT-R M.1141 relative aux critères de seuil de coordination applicables aux stations spatiales SMS non OSG fonctionnant en partage de fréquences avec des systèmes numériques du service fixe. La Recommandation UIT-R IS.1143 (Genève, 1995) a été principalement élaborée dans ce but. Premièrement, pour les systèmes du service fixe, le brouillage est évalué au moyen des caractéristiques de référence décrites à

l'Annexe 2 de la Recommandation. Lorsque les seuils fixés dans la Recommandation UIT-R M.1141 sont dépassés pour ces paramètres de référence du service fixe, on utilise la méthodologie spécifique au système exposée à l'Annexe 1 pour estimer le besoin de coordonner les réseaux SMS (espace-Terre) non OSG avec les assignations du service fixe. Cette méthodologie tient compte des caractéristiques spécifiques du système SMS non OSG et des caractéristiques de référence du service fixe. Si les niveaux de brouillage maximum applicables ne sont pas dépassés, la coordination n'est alors pas impérative (sauf avis contraire ultérieur de la part de l'administration responsable des systèmes du service fixe).

La Recommandation UIT-R IS.1143 a été rebaptisée Recommandation UIT-R M.1143 en 1997.

7.4 Recommandation UIT-R F.1246 (Genève, 1997) (Largeur de bande de référence)

Les Recommandations UIT-R IS.1141 (Genève, 1995) et UIT-R IS.1142 (Genève, 1995) ont adopté une largeur de bande de référence de 4 kHz permettant de définir, en termes de puissance surfacique, les seuils de coordination applicables aux systèmes analogiques du service fixe fonctionnant en partage de fréquences avec des stations spatiales SMS non OSG et OSG respectivement. Par ailleurs, la Recommandation UIT-R IS.1141 (Genève, 1995) a adopté une largeur de bande de référence de 1 MHz permettant de définir la FDP de systèmes numériques du service fixe fonctionnant en partage de fréquences avec des stations spatiales SMS non OSG. Toutefois, la Recommandation UIT-R IS.1142 (Genève, 1995) a adopté une largeur de bande de référence de 4 kHz permettant de définir, en termes de puissance surfacique, les seuils de coordination applicables aux systèmes numériques du service fixe fonctionnant en partage de fréquences avec des stations spatiales SMS OSG. On a reconnu qu'il était nécessaire de remédier à cette incohérence et d'étudier l'applicabilité de la largeur de bande de référence de 1 MHz aux systèmes analogiques du service fixe. Il a également été noté qu'une partie du spectre utilisée par les systèmes SMS peut ne pas être uniforme sur une largeur de bande de 1 MHz.

Les Commissions d'études 8 et 9 des radiocommunications ont entrepris une étude détaillée des effets du brouillage causé par le SMS aux systèmes du service fixe avec pour résultat l'élaboration de la Recommandation UIT-R F.1246, qui recommande l'utilisation d'une largeur de bande de référence de 1 MHz pour les systèmes numériques du service fixe et des largeurs de bande de référence de 4 kHz et de 1 MHz pour les systèmes analogiques du service fixe recourant à la technique MRF-MF. Sur la base de cette Recommandation, les seuils de coordination énoncés dans les Recommandations UIT-R IS.1141 et UIT-R IS.1142 ont été dûment modifiés. (Ces Recommandations ont été rebaptisées Recommandations UIT-R M.1141 et UIT-R M.1142.) Les mêmes conclusions ont également été incluses dans l'Appendice 5 du RR.

8 Limites de puissance surfacique applicables aux liaisons de connexion SMS non OSG (Recommandation UIT-R SF.1320)

La CMR-95 a attribué au SFS les bandes 6 700-7 075 MHz et 19,3-19,6 GHz dans le cadre d'un fonctionnement en bandes inversées (espace-Terre et Terre-espace respectivement) et a décidé que ces bandes seraient utilisées par les liaisons de connexion SMS non OSG. En outre, elle a également décidé qu'il y aurait un usage additionnel de la bande 19,3-19,6 GHz par le SFS pour les liaisons de connexion (espace-Terre) avec les réseaux SMS non OSG. La CMR-97 a ultérieurement élargi la bande susmentionnée de 100 MHz pour qu'elle couvre la bande 19,3-19,7 GHz et a précisé les conditions de son utilisation par les réseaux à satellites de liaison de connexion SFS OSG et SMS non OSG. Ces bandes sont également attribuées au service fixe utilisant ces bandes spectrales dans

diverses applications de faisceaux hertziens sur de courtes et de longues distances. Les Commissions d'études 4 et 9 des radiocommunications ont réalisé, dans le cadre du Groupe de travail 4-9S et de la préparation de la CMR-95, des études approfondies visant à déterminer la faisabilité du partage de bande. Les caractéristiques de conception envisagées pour les liaisons de connexion SMS non OSG proposées ont permis d'établir des limites de puissance surfacique, plutôt que des seuils de déclenchement, en vue de la coordination avec le service fixe. Cela a été très utile étant donné que les bandes étaient déjà largement utilisées par le service fixe dans bon nombre de pays et que la coordination des fréquences imposerait à ces pays une lourde charge administrative.

Il est possible de traiter l'aspect variable dans le temps du brouillage causé au service fixe par des stations spatiales SMS non OSG en analysant le brouillage au moyen de la méthode de la FDP décrite dans la Recommandation UIT-R F.1108. Par ailleurs, conformément à la Recommandation UIT-R F.1094, une dégradation maximale de 10% est autorisée pour les services qui fonctionnent en partage avec le service fixe à titre coprimaire. Il est nécessaire d'évaluer un certain nombre d'hypothèses de partage de bande pour établir les limites de puissance surfacique qui non seulement sont nécessaires et suffisantes pour protéger le service fixe mais permettent également de ne pas imposer de contraintes excessives aux réseaux de liaison de connexion SMS non OSG.

Dans le cas de la bande des 7 GHz, des études ont révélé que les limites de puissance surfacique applicables aux bandes des 4 GHz et des 5 GHz ($-152/-142$ dB(W/m²) dans une bande quelconque de 4 kHz) ne suffiraient pas pour maintenir la FDP des systèmes à 7 GHz du service fixe dans la limite maximale de dégradation de 10%. Ainsi, des valeurs de crête de la FDP situées entre 50% et 250% seraient subies par le service fixe à des azimuts de pointage critiques, tandis que des valeurs de FDP dépassant 10% seraient enregistrées dans une large gamme d'azimuts des stations du service fixe. Une autre analyse menée au moyen d'un gabarit de puissance surfacique plus strict de 10 dB a produit des valeurs de FDP maximales proches de 4% à des azimuts critiques des stations du service fixe. Dans ce cas, les FDP moyennes étaient inférieures à 1%. En l'absence d'autres éléments modérateurs, ce gabarit de puissance surfacique plus strict suffisait pour protéger le service fixe dans la bande des 7 GHz. Il a été reconnu que la FDP subie par le service fixe pouvait aussi provenir des réseaux SFS OSG dans la liaison montante, la plupart des cas pouvant cependant être traités par le biais d'accords de coordination des fréquences utilisées par les stations terriennes et les stations de Terre conclus sur une base nationale ou bilatérale. Cela étant, il est prévu que la majorité des stations du service fixe feront appel à l'avenir à la modulation numérique et qu'une largeur de bande de référence plus large de 1 MHz pourrait être prise comme hypothèse dans les analyses de brouillage. Ainsi, il a été nécessaire de déterminer une augmentation acceptable de la puissance surfacique à partir de $-138/-128$ dB(W/m²), dans une bande quelconque de 1 MHz, qui serait jugée nécessaire et suffisante pour protéger le service fixe.

Un certain nombre de facteurs ont été pris en compte, parmi lesquels, d'une part, une augmentation de la puissance surfacique pouvant aller jusqu'à 6 dB en raison de la latitude de la station du service fixe et de l'angle d'élévation de l'antenne, les effets éventuels de la discrimination de polarisation à proximité du lobe principal de l'antenne de la station du service fixe, l'utilisation d'un gabarit de puissance surfacique et le taux d'augmentation de ce gabarit et, d'autre part, une augmentation pouvant aller jusqu'à 3 dB sous l'effet de plusieurs réseaux de liaison de connexion SMS non OSG. Il a été conclu que, tous les facteurs étant pris en compte, un accroissement de 4 dB de la puissance surfacique et un facteur d'augmentation de 10 dB entre les petits et les grands angles d'arrivée assureraient la protection nécessaire au service fixe tout en ménageant plus de souplesse aux futurs réseaux de liaison de connexion SMS non OSG.

En outre, il ressort d'une étude séparée présentée à la CMR-95 qu'un gabarit de puissance surfacique de $-154/-144$ dB(W/m²) dans une bande quelconque de 4 kHz protégerait également le service fixe. Ces niveaux de puissance surfacique faciliteraient la mise en œuvre de porteuses à bande étroite par un seul réseau de liaison de connexion SMS non OSG. Cette étude a fait l'objet d'un examen

approfondi de la part de la Conférence, qui est parvenue à la conclusion qu'il serait nécessaire d'appliquer simultanément les deux limites, c'est-à-dire $-154/-144$ dB(W/m²) dans une bande quelconque de 4 kHz et $-134/-124$ dB(W/m²) dans une bande quelconque de 1 MHz, pour permettre un partage de bande à 7 GHz. Des porteuses de satellites à bande étroite pourraient être mises en œuvre de manière rentable à condition que leur puissance surfacique globale ne dépasse pas $-134/-124$ dB(W/m²) dans une bande quelconque de 1 MHz. La CMR-95 a également décidé, mais sans procéder à un débat technique, qu'il serait nécessaire de diminuer de 3 dB par rapport à la bande 6 825-7 075 MHz les limites de puissance surfacique (dans une largeur de bande de référence de 1 MHz) dans la sous-bande 6 700-6 825 MHz pour protéger les stations plus sensibles du service fixe.

S'agissant de la bande des 19 GHz, il était nécessaire d'examiner la Recommandation UIT-R SF.1005, qui dispose que dans la gamme de fréquences 15,4-20 GHz, dans les bandes où le mode bidirectionnel est attribué au SFS, la puissance surfacique devrait être réduite de 5 dB par rapport aux limites indiquées dans la Recommandation UIT-R SF.358, c'est-à-dire qu'elle devrait être ramenée à $-120/-110$ dB(W/m²) dans une bande quelconque de 1 MHz. Des études ont démontré que si l'affaiblissement dû à l'atmosphère n'était pas pris en compte, les limites de puissance surfacique actuellement applicables à la bande des 19 GHz, c'est-à-dire $-115/-105$ dB(W/m²) dans une bande quelconque de 1 MHz ne suffiraient pas pour protéger le service fixe. Dans ce cas, l'application de la Recommandation UIT-R F.1108 aboutissait à des valeurs maximales de la FDP comprises entre 11% et 55%. Toutefois, dans cette gamme de fréquences, les précipitations jouent un rôle essentiel dans la propagation et la conception de la liaison du service fixe. En conséquence, la méthode faisant appel à la FDP indiquée dans la Recommandation UIT-R F.1108 n'aura pas une valeur suffisante pour permettre de déterminer les valeurs de puissance surfacique aptes à protéger le service fixe. Il a donc été nécessaire d'évaluer les résultats obtenus avec d'autres méthodes de calcul du brouillage que la méthode de la FDP, notamment les fonctions de distribution cumulatives du brouillage.

Comme pour la bande des 7 GHz, un certain nombre d'éléments modérateurs ont été étudiés. Ainsi, les angles minimaux de fonctionnement des satellites des réseaux SMS non OSG proposés sont compris entre 5° et 8°. L'affaiblissement dû à l'atmosphère à de faibles angles de trajets obliques est généralement de plusieurs décibels, ce qui est suffisant pour compenser le renforcement des limites de puissance surfacique exigé par la Recommandation UIT-R SF.1005. En outre, le découplage de polarisation entre les systèmes à satellites et les systèmes de Terre pourrait s'élever jusqu'à 3 dB pour les cas de brouillage dans le lobe principal. Compte tenu de l'affaiblissement dû à l'atmosphère mais partant de l'hypothèse que les réseaux non OSG devaient fonctionner à un angle minimal de 0° aux limites de puissance surfacique, les résultats des analyses de fonctions de distribution cumulatives ont démontré que les objectifs de brouillage du service fixe, à long et à court termes, étaient atteints mais avec de faibles marges (de l'ordre de 2 à 4 dB dans le mode bidirectionnel). Une étude a révélé que l'objectif de brouillage à court terme du service fixe (dans le mode bidirectionnel) était dépassé d'environ 4 dB, bien qu'il ne soit tenu compte d'aucun affaiblissement dû à l'atmosphère. Il a été conclu que, compte tenu de tous les facteurs, les limites de puissance surfacique existantes pour la bande des 19 GHz étaient nécessaires et suffisantes pour protéger le service fixe du brouillage occasionné par les stations spatiales de liaison de connexion SMS non OSG.

Il est important de noter que la bande des 19 GHz peut également être utilisée par les liaisons de connexion SFS OSG (espace-Terre) ainsi que par les liaisons de connexion SMS non OSG dans la direction opposée (Terre-espace). Compte tenu du fait qu'il existe une marge de brouillage, encore qu'elle soit faible, en raison de l'introduction de réseaux de liaison de connexion SMS non OSG (espace-Terre), il est possible d'utiliser cette marge pour coordonner les fréquences entre le service fixe et les stations terriennes de liaison de connexion SMS non OSG fonctionnant dans la direction opposée.

La Recommandation UIT-R SF.1320, approuvée en 1997, donne une analyse détaillée concernant le calcul des limites de puissance surfacique sur les réseaux de liaison de connexion SMS non OSG.

9 Examen des limites de puissance surfacique applicables aux services scientifiques spatiaux dans les bandes des 2 GHz (Recommandation UIT-R SA.1273)

La Recommandation UIT-R SA.1273 traite des limites de puissance surfacique dans les bandes 2025-2110 MHz et 2200-2290 MHz propres à protéger les stations du service fixe des émissions produites par les systèmes à satellites des services scientifiques spatiaux. Cette Recommandation, qui a été élaborée conjointement par les Commissions d'études 7 et 9 des radiocommunications, est le résultat de plusieurs années d'étude visant à déterminer des limites de puissance surfacique appropriées à partir des caractéristiques et des prescriptions en matière de qualité de fonctionnement des systèmes du service fixe et des services scientifiques spatiaux fonctionnant ou devant fonctionner dans ces bandes. Deux types de réseaux sont exploités par les services scientifiques spatiaux dans les bandes des 2 GHz, un réseau au sol et un réseau spatial. Le réseau au sol fait appel à des stations terriennes pour les opérations de télémétrie, de poursuite, de télécommande et d'acquisition de données de mission provenant de satellites scientifiques placés sur tous les types d'orbite. Les transmissions des stations terriennes vers les satellites s'effectuent dans la bande 2025-2110 MHz et les transmissions des satellites vers les stations terriennes dans la bande 2200-2290 MHz.

Le réseau spatial remplace un satellite relais de données (SRD) pour les stations terriennes qui sont utilisées dans le réseau au sol. Le SRD permet d'établir des liaisons de radiocommunication pour les opérations de télémétrie, de poursuite, de télécommande et d'acquisition de données de mission en direction de satellites qui sont généralement placés sur des orbites plus basses que l'OSG. La bande 2025-2110 MHz est utilisée pour les liaisons du SRD vers le satellite utilisateur en orbite basse (c'est-à-dire les liaisons aller) tandis que la bande 2200-2290 MHz est utilisée pour les liaisons du satellite en orbite basse vers le SRD (c'est-à-dire les liaisons retour).

Les systèmes à satellites et les systèmes du service fixe ont fait l'objet de nombreuses simulations de Monte Carlo et de simulations déterministes destinées à déterminer des limites adéquates de puissance surfacique. Dans la bande 2025-2110 MHz, ces simulations ont consisté à orienter de manière aléatoire l'antenne de réception des stations du service fixe et à calculer le brouillage global causé par l'ensemble des SRD visibles par la station de réception du service fixe pendant la poursuite d'un ensemble de satellites placés sur des orbites aléatoires. Ces simulations ont confirmé que les limites de puissance surfacique existantes, lorsqu'elles étaient exprimées dans une largeur de bande de référence de 1 MHz, pouvaient protéger les stations types du service fixe fonctionnant dans la bande.

Des techniques de simulation inspirées de la Recommandation UIT-R F.1108 ont été utilisées pour évaluer les limites de puissance surfacique applicables à la bande 2200-2290 MHz. Ces simulations prennent comme hypothèses une orientation aléatoire de l'antenne de réception du service fixe et des émissions simultanées dans le même canal provenant de 15 satellites en orbite basse disposés sur des orbites aléatoires. Les simulations ont démontré qu'il était possible d'assouplir la limite de puissance surfacique de 3 dB et de faire passer la largeur de bande de référence de 4 kHz à 1 MHz.

La Recommandation UIT-R SA.1273 recommande que dans la bande 2200-2290 MHz, la limite de puissance surfacique applicable aux émissions produites par les satellites dans le sens espace-Terre soit comprise entre $-130 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ et $-120 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une bande quelconque de 1 MHz. Pour les émissions des satellites dans le sens espace-espace, la puissance surfacique peut varier entre $-127 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ et $-117 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une bande quelconque de 1 MHz. Dans la bande

2025-2 110 MHz, les limites de puissance surfacique applicables aux émissions espace-espace des SRD OSG doivent être comprises entre $-130 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ et $-120 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une bande quelconque de 1 MHz. Les faibles valeurs s'appliquent à des angles d'élévation inférieurs à 5° . Entre 5° et 25° , la limite de puissance surfacique augmente de façon linéaire. Il convient de noter que les limites de puissance surfacique indiquées dans la Recommandation UIT-R SA.1273 diffèrent des limites données dans le Tableau 21-4 de l'Article 21 du RR.

10 Seuils de coordination applicables au SRS (sonore) dans la bande 1 452-1 492 MHz

Ainsi qu'il est décrit au § 5.2, la CAMR-92 a attribué au SRS (sonore) certaines bandes de fréquences dans la gamme 1-3 GHz. Plusieurs projets relatifs au SRS (sonore) ont été présentés au Bureau des radiocommunications de l'UIT. Etant donné qu'il y a un partage de bande avec le service fixe, il est devenu nécessaire d'établir des niveaux de seuil pour déterminer la nécessité de procéder à une coordination entre les systèmes du SRS (sonore) et les systèmes du service fixe. Il a été noté que les systèmes du service fixe étaient généralement utilisés pour des systèmes point à point sur de courtes distances et des systèmes d'accès local point à multipoint. Dans certaines situations malencontreuses, des stations spatiales du SRS (sonore) peuvent apparaître dans la direction du faisceau principal des stations de réception du service fixe, d'où un important brouillage. Il a été difficile d'établir des seuils de coordination compte tenu de ces situations.

Après une étude approfondie à laquelle ont participé des spécialistes du service fixe et du SRS, la Recommandation UIT-R F.1338 utilisant l'orbite des satellites OSG pour des émissions espace-Terre et le service fixe dans la bande 1452-1492 MHz a été approuvée par l'Assemblée des radiocommunications de l'UIT qui s'est tenue en 1997. La Recommandation présente, sous forme de seuils de coordination, des niveaux de puissance surfacique équivalant ceux qui sont applicables aux bandes adjacentes du SMS, tout en reconnaissant cependant qu'il est nécessaire d'appliquer d'autres niveaux de puissance surfacique en fonction de la situation. L'Annexe 1 de la Recommandation présente un certain nombre de considérations sur les systèmes du service fixe susceptibles de faciliter la réussite des procédures de coordination.

La Recommandation UIT-R F.1338 constitue un premier pas dans l'étude de cette question et d'autres études sont en cours.

11 Remarques conclusives

Depuis 1963, les critères de puissance surfacique constituent l'une des plus importantes questions concernant le partage de fréquences entre le service fixe et divers services spatiaux. En l'occurrence depuis la CAMR-92, qui a procédé à diverses nouvelles attributions de fréquences aux services spatiaux, un certain nombre de nouvelles Recommandations UIT-R ont été élaborées en vue d'établir des critères de puissance surfacique propres à protéger le service fixe.

Dans de nombreux cas, les critères n'ont été définis qu'après de longues controverses entre les spécialistes représentant le service brouilleur et le service subissant le brouillage, ce qui s'explique par le fait que la question est complexe et difficile à analyser.

A l'avenir, les situations de partage de fréquences pourront devenir plus complexes et il deviendra peut-être nécessaire d'établir des critères de puissance surfacique adaptés aux nouvelles situations. La présente Recommandation devrait fournir des indications utiles pour ces futures analyses.

Appendice 1 de l'Annexe 1

Définition des limites de puissance surfacique applicables aux stations spatiales du SFS

La Conférence administrative extraordinaire des radiocommunications (Genève, 1963) a attribué au SFS les bandes 3 700-4 200 MHz et 5 925-6 425 MHz en partage avec le service fixe. Il s'agissait de la première attribution de fréquences au SFS à des fins d'exploitation. Les faisceaux hertziens du service fixe fonctionnaient depuis plus de 10 ans et, de ce fait, les critères de partage de fréquences entre les deux services figuraient parmi les questions les plus importantes examinées avant la Conférence par la X^e Assemblée plénière de l'ex-CCIR (Genève, 1963).

Les Commissions d'études 4 et 9 ont étudié conjointement cette question et ont élaboré l'Avis 358 (actuellement Recommandation UIT-R SF.358), qui proposait les valeurs maximales admissibles de la puissance surfacique produite à la surface de la Terre par des stations spatiales du SFS. Depuis lors, des efforts ont été poursuivis pour améliorer cet Avis et étendre son application à d'autres bandes de fréquences. Le présent Appendice en donne un aperçu général.

1 Avis 358 de l'ex-CCIR (Genève, 1963)

1.1 Critères de partage visant à protéger les faisceaux hertziens

Les premiers faisceaux hertziens fonctionnant dans la bande des 4 GHz ont été mis en service en 1947 entre New York et Boston aux Etats-Unis d'Amérique. Depuis lors, de nombreux pays dans le monde ont mis en place des faisceaux hertziens dans leurs réseaux de télécommunication aussi bien sur de longues que sur de courtes distances.

A l'apparition de la technologie satellitaire, l'une des questions essentielles était de savoir comment protéger les faisceaux hertziens existants des émissions produites par les stations spatiales. A cet effet, l'ex-CCIR a élaboré l'Avis 357 intitulé «Systèmes de télécommunication par satellites utilisant les mêmes bandes de fréquences que des systèmes de faisceaux hertziens en visibilité directe-Valeurs maximales admissibles des brouillages dans une voie téléphonique de faisceau hertzien» (actuellement Recommandation UIT-R SF.357). (A noter que le terme «service fixe par satellite» a été défini par la CAMR-71 et qu'auparavant c'était le terme «systèmes de télécommunication par satellites» qui était utilisé.)

Cet Avis recommandait:

1 que les systèmes de télécommunication par satellites, partageant des bandes de fréquences avec des faisceaux hertziens, soient conçus de telle manière que la puissance des bruits dus aux brouillages en un point de niveau relatif zéro d'une voie téléphonique quelconque d'un circuit fictif de référence de 2 500 km pour faisceaux hertziens, sous l'effet de l'ensemble des émissions des stations terriennes et des satellites de télécommunication, ne dépasse pas les valeurs suivantes:

1.1 1 000 pW, valeur psophométrique moyenne quelle que soit l'heure;

1.2 1 000 pW, valeur psophométrique moyenne pendant une minute, pendant plus de 20% d'un mois quelconque;

1.3 50 000 pW, puissance psophométrique moyenne pendant une minute, pendant plus de 0,01% d'un mois quelconque;

L'Avis 357 était fondé sur l'Avis 393 (actuellement Recommandation UIT-R F.393), qui spécifiait la puissance de bruit admissible sur le circuit fictif de référence pour les faisceaux hertziens de téléphonie à multiplexage par répartition en fréquence (MRF). L'Avis 393 recommandait:

1 que la puissance du bruit en un point de niveau relatif zéro, dans n'importe quelle voie téléphonique du circuit fictif de référence de 2 500 km pour faisceaux hertziens de téléphonie à multiplexage par répartition en fréquence, ne dépasse pas les valeurs provisoires ci-après, qui ont été choisies pour tenir compte des évanouissements:

1.1 7 500 pW puissance psophométrique moyenne, quelle que soit l'heure;

1.2 7 500 pW puissance psophométrique moyenne, pendant une minute, pendant plus de 20% d'un mois quelconque;

1.3 47 500 pW puissance psophométrique moyenne, pendant une minute, pendant plus de 0,1% d'un mois quelconque;

1.4 1 000 000 pW puissance non pondérée (avec un temps d'intégration de 5 ms) pendant plus de 0,01% d'un mois quelconque.

Il convient de noter que la clause relative au bruit moyen quelle que soit l'heure, a été ultérieurement supprimée, mais que les autres clauses figurent toujours dans la version actuelle de la Recommandation UIT-R F.393. Par ailleurs, un autre Avis spécifiait le bruit maximal admissible dans des circuits réels de longueur inférieure à 2 500 km. Il s'agissait de l'Avis 395 (actuellement Recommandation UIT-R F.395), qui énonçait les objectifs suivants:

- la puissance du bruit dans une voie téléphonique d'un faisceau hertzien MRF réel, de longueur L km comprise entre 280 et 2 500 km, ne devrait pas dépasser une valeur moyenne, pendant une minute, de $3L$ pW pendant plus de 20% d'un mois quelconque;
- la puissance du bruit dans une voie téléphonique d'un faisceau hertzien MRF réel, de longueur L km comprise entre 50 et 280 km, ne devrait pas dépasser une valeur moyenne, pendant une min, de $50 \sqrt{L}$ pW pendant plus de 20% d'un mois quelconque.

Un important élément ressort de ce qui précède, à savoir que l'Avis 357 a été élaboré sur la base de l'Avis 393, mais qu'il n'a pas été tenu compte de l'Avis 395. Cet Avis spécifiait la puissance de bruit maximale admissible dans des circuits réels dont la longueur pouvait être inférieure à 50 km. Même à cette époque, il était admis que l'Avis 395 ne serait pas observé si le brouillage causé par les satellites était pris en compte en raison du fait qu'il pouvait dépasser la limite autorisée par l'Avis 395 dans les cas les plus défavorables où un satellite apparaissait dans le faisceau principal d'une antenne de réception de faisceaux hertziens. Il a donc été convenu, à l'unanimité, que le brouillage maximal admissible causé par des systèmes du SFS ne devrait être spécifié que pour le circuit fictif de référence de 2 500 km de long.

1.2 Limites de puissance surfacique

En 1963, une étude approfondie visant à définir les limites de puissance surfacique applicables aux stations spatiales du SFS et satisfaisant à l'objectif énoncé par l'Avis 357 en matière de brouillage a abouti à l'élaboration de l'Avis 358. Cet Avis historique recommandait:

1 que l'on peut considérer comme réalisable le partage des bandes de fréquences entre les systèmes de télécommunication par satellites et les systèmes de faisceaux hertziens en visibilité directe dans les conditions décrites aux § 2 ou 3 ci-dessous;

2 que pour les systèmes de télécommunication par satellites utilisant la modulation de fréquence à grande excursion, la densité du flux de puissance produite à la surface de la Terre par les émissions d'un satellite ne devrait pas dépasser:

–130 dB(W/m²) pour tous les angles de site;

et que les signaux rayonnés par un satellite devraient être, au besoin, continuellement modulés par une forme d'onde appropriée, de manière que la densité du flux de puissance mesurée dans une bande quelconque de 4 kHz, notamment pendant les périodes de faible charge, ne dépasse pas:

–149 dB(W/m²) pour 4 kHz pour tous les angles de site;

3 que, pour les systèmes de télécommunication par satellites utilisant d'autres méthodes de modulation, la densité du flux de puissance produite à la surface de la Terre par les émissions d'un satellite, mesurée dans une bande quelconque de 4 kHz, ne devrait pas dépasser:

–152 dB(W/m²) pour 4 kHz pour tous les angles de site;

4 que les valeurs ci-dessus devraient être considérées comme provisoires, en attendant de nouvelles études.

La justification des limites susmentionnées est donnée dans le Rapport 209 de l'ex-CCIR (Genève, 1963) intitulé «Systèmes de télécommunication par satellites – Partage des fréquences entre les systèmes de télécommunication par satellites et les services de radiocommunication terriens». Des textes du Rapport 209 sont résumés ci-après:

Il semble bien que les systèmes de télécommunication par satellites exigeront de très grandes largeurs de bande dans le spectre radioélectrique pour permettre l'acheminement du trafic. Cependant, la partie du spectre située entre 1 et 10 GHz qui, au point de vue technique, pourrait convenir le mieux à ces systèmes, est déjà largement utilisée par d'autres services de radiocommunication. Il s'ensuit que la recherche de bandes de fréquences suffisantes pour les systèmes à satellites serait grandement facilitée s'il était possible de réaliser le partage des fréquences avec d'autres services compatibles. Ce partage devrait être basé sur des normes mutuellement acceptables en ce qui concerne la protection contre les brouillages avec une certaine marge pour tenir compte du développement futur des services en question.

La puissance d'émission admissible des satellites devrait être assez élevée pour donner à ceux qui conçoivent les systèmes de télécommunication par satellites une liberté suffisante pour pouvoir satisfaire aux conditions de fonctionnement de ces systèmes, mais elle ne doit pas être élevée au point d'abaisser notablement la qualité de fonctionnement des systèmes de faisceaux hertziens en visibilité directe actuels ou futurs, et d'amener cette qualité de fonctionnement au-dessous de celle qui est spécifiée dans l'Avis 393. On peut démontrer la possibilité de définir, en pratique, des valeurs limites qui remplissent ces deux conditions.

Cependant, il serait peu opportun d'exprimer la limitation en fonction de la puissance d'émission des satellites, vu la nécessité de considérer une gamme d'altitude, et on estime préférable de définir le flux de puissance admissible (W/m²) produit par un satellite à la surface de la Terre. Cela permettrait d'utiliser de plus grandes puissances de rayonnement dans des satellites placés sur des orbites à plus haute altitude.

Outre le flux de puissance admissible, il y a intérêt également à définir la densité spectrale du flux de puissance admissible (W/m² pour une bande de 4 kHz), largeur de bande normale d'une voie téléphonique. Le but est ici d'interdire la concentration de l'énergie rayonnée dans une étroite bande de fréquence, ce qui provoquerait des brouillages excessifs. On trouvera à l'Annexe II une étude du rapport entre le flux de puissance et les brouillages que provoque cette grandeur dans les systèmes de faisceaux hertziens et, dans l'Avis 358, des chiffres provisoires pour les valeurs maximales admissibles de la densité du flux de puissance.

La raison pour laquelle la limite de puissance surfacique a été fixée à $-149 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ par largeur de bande de 4 kHz est donnée à l'Annexe II du Rapport 209, qui peut être résumée comme suit:

- les hypothèses relatives à un récepteur de faisceau hertzien sont une surface effective d'antenne de 10 m^2 (gain de 43 dB à 4 GHz, ce qui est supérieur à la surface de 5 m^2 et au gain de 40 dB de l'antenne moyenne), une discrimination de polarisation de 3 dB entre la polarisation circulaire et la polarisation linéaire et une perte de 3 dB dans la ligne d'alimentation;
- ainsi, une puissance surfacique de $-149 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ par largeur de bande de 4 kHz en exposition directe se traduit par -145 dBW par largeur de bande de 4 kHz à l'entrée du récepteur;
- à supposer que le facteur de bruit soit égal à 4 dB (ce qui est bien inférieur à la valeur type de 10 dB), la puissance du bruit thermique est de -164 dBW par largeur de bande de 4 kHz;
- à supposer que le bruit thermique sans évanouissement (par bond) dans une voie téléphonique soit compris entre 5 et 10 pW, le bruit brouilleur (supérieur de 19 dB au bruit thermique) correspond à une valeur comprise entre 400 et 800 pW;
- étant donné que la probabilité pour que deux bonds soient affectés est très faible (moins de 1%), le brouillage susmentionné soutient la comparaison avec le chiffre de 1000 pW indiqué comme limite supérieure dans l'Avis 357.

Il semblerait que les brouillages par le biais des lobes secondaires de l'antenne hertzienne aient été jugés insignifiants. Aucune explication n'est donnée pour la limite de puissance surfacique totale de $-130 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ ou pour la limite de puissance surfacique de $-152 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une largeur de bande de 4 kHz. Cependant, il est intéressant de noter que la limite de $-152 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ par 4 kHz pour la bande des 4 GHz figure encore dans la dernière version de la Recommandation UIT-R SF.358.

Il est difficile de comprendre pourquoi l'Avis 358 (Genève, 1963) spécifiait la même limite de puissance surfacique pour tous les angles d'arrivée, mais il a été remédié à ce point en 1966.

Dans l'ensemble, l'Avis 358 a défini de bonnes bases pour un partage de fréquences réussi entre le SFS et le service fixe. Fait particulièrement impressionnant, le Rapport 209 a pris comme hypothèse un facteur de bruit aussi faible que 4 dB alors que le facteur de bruit type à cette époque était d'environ 10 dB.

2 Avis 358-1 de l'ex-CCIR (Oslo, 1966)

En 1966, l'Avis 358 a fait l'objet d'une révision majeure et la partie *recommande* de l'Avis 358-1 (Oslo, 1966) est simplement libellée comme suit:

1 que, dans les bandes de fréquences de la gamme de 1 à 10 GHz, partagées entre les systèmes de télécommunication par satellites et les faisceaux hertziens en visibilité directe, la densité maximale du flux de puissance produit à la surface de la Terre par les émissions d'une station spatiale pour toute méthode et toute condition de modulation, ne dépasse pas:

$$\left(-152 + \frac{\theta}{15} \right) \text{ dB(W/m}^2\text{)} \text{ dans une bande quelconque de 4 kHz,}$$

θ étant l'angle d'arrivée de l'onde mesuré en degrés au-dessus de l'horizon;

2 que l'on devrait supposer que la valeur susmentionnée se rapporte à la densité du flux de puissance dans les conditions de propagation dans le vide.

Le Rapport 387 (Oslo, 1966), intitulé «Densité spectrale du flux de puissance créé à la surface de la Terre par les satellites de télécommunication», donne les renseignements suivants:

- d'après une étude visant à déterminer dans quelle mesure les antennes existantes de faisceaux hertziens sont dirigées vers l'orbite d'un satellite géostationnaire, le pourcentage du nombre total d'orientations des faisceaux d'antenne pour lesquelles il y a intersection varie d'un réseau à l'autre, mais sur près de 6 000 orientations des faisceaux d'antenne, environ 2% sont orientés à moins de 1° de l'orbite des satellites OSG;
- pour les systèmes à modulation de fréquence avec grande excursion, on peut utiliser la dispersion d'énergie de la porteuse, de sorte que la limite de la densité du flux de puissance totale ($-130 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$) peut être dépassée, sans qu'il y ait dépassement de la densité limite du flux de puissance dans une bande quelconque de 4 kHz ($-149 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$). Il s'ensuit que la première de ces limites est restrictive sans fournir pour autant une protection supplémentaire aux faisceaux hertziens;
- en augmentant la valeur limite de la densité du flux de puissance, dans une bande quelconque de 4 kHz, au fur et à mesure que l'on s'approche du point de projection du satellite, on faciliterait la réalisation de systèmes à satellites comprenant des stations terriennes plus simples. Cet assouplissement faciliterait la tâche du réalisateur d'un système à satellites sans pour autant augmenter les risques de brouillages qui pourraient être causés aux liaisons par faisceaux hertziens;
- pour la plupart des antennes de satellite, le diagramme de rayonnement donne un gain en direction de l'horizon probablement inférieur de 3 dB environ à ce qu'il est en direction du centre de la Terre et le trajet (et par conséquent, l'affaiblissement) entre le satellite et l'horizon est plus long qu'entre le satellite et sa projection sur la Terre; la combinaison de ces facteurs fait que la puissance surfacique à la projection du satellite sur la Terre pourrait être supérieure d'environ 6,5 dB à ce qu'elle est à l'horizon pour un satellite d'altitude égale à 8 000 km, et d'environ 4,2 dB pour un satellite d'altitude égale à 20 000 km (à noter qu'à cette époque, les antennes de satellite offraient un faible gain avec une couverture mondiale).

Les facteurs susmentionnés justifiaient la révision de l'Avis. La valeur de $-152 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une bande de 4 kHz a été calculée pour les faisceaux hertziens de référence suivants:

- antenne d'une surface équivalente de $7,5 \text{ m}^2$ (gain de 42 dB environ);
- affaiblissement de 3 dB dans la ligne d'alimentation;
- discrimination de polarisation: 3 dB;
- température de bruit globale du système: 750 K;
- brut thermique de 25 pW (puissance psophométrique) dans une voie téléphonique pour un trajet en espace libre de 50 km;
- fréquence utilisée de 4 GHz.

Compte tenu de ces hypothèses, un brouillage de 1 000 pW correspond à une puissance surfacique de $-150,6 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une bande de 4 kHz.

3 Rapport 387-1 de l'ex-CCIR (New Delhi, 1970)

La réunion mixte des Commissions d'études 4 et 9 qui s'est tenue en 1969 a reçu une proposition visant à remplacer la limite de puissance surfacique dans toute bande de 4 kHz spécifiée dans l'Avis 358-1 par les valeurs suivantes:

$$\begin{array}{ll} -152 + 0,5 \theta \text{ dB(W/m}^2\text{)} & \text{pour } 0^\circ \leq \theta < 20^\circ \\ -142 \text{ dB(W/m}^2\text{)} & \text{pour } 20^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \end{array}$$

θ étant l'angle d'arrivée au-dessus du plan horizontal.

La proposition avait pour objet de permettre aux satellites d'utiliser des faisceaux étroits, mais elle n'a pas été acceptée par la réunion et après de longs débats, le gabarit de puissance surfacique ci-après, pour une largeur de bande de référence de 4 kHz, a été proposé en vue d'une étude plus approfondie:

| | | |
|--------------------|-----------------------|--------------------|
| -152 | dB(W/m ²) | pour 0° ≤ θ < 5° |
| -152 + 0,5 (θ - 5) | dB(W/m ²) | pour 5° ≤ θ < 25° |
| -142 | dB(W/m ²) | pour 25° ≤ θ ≤ 90° |

Dans ce cas, la limite de puissance surfacique est constante pour des angles d'arrivée compris entre 0° et 5°. La raison de l'adoption d'une valeur constante pour cette plage est décrite dans la Recommandation UIT-R SF.358, Annexe 1, § 2.3.

Le gabarit de puissance surfacique proposé et révisé a été inclus dans le Rapport révisé 387-1 (New Delhi, 1970), qui invite les administrations à poursuivre l'étude de la question.

4 Réunion spéciale mixte de l'ex-CCIR (Genève, 1971)

Cette Réunion était une Réunion spéciale des Commissions d'études de l'ex-CCIR (analogue à l'actuelle Réunion de préparation à la Conférence), dont l'objet était de préparer la CAMR-71. Les limites de puissance surfacique applicables aux stations spatiales du SFS figuraient au nombre des questions importantes qui devaient être examinées lors de cette réunion.

Diverses contributions ont été présentées. Elles rendaient compte des résultats des simulations concernant le gabarit de puissance surfacique révisé applicable à la bande des 4 GHz décrit dans le Rapport 387-1 (New Delhi, 1970). La plupart de ces contributions indiquaient que le gabarit proposé était acceptable, mais une administration a signalé que la limite de puissance surfacique proposée pour de grands angles d'arrivée était trop élevée si on prenait en compte un diagramme de rayonnement de performance relativement faible pour les antennes effectives de type asymétrique dans le plan vertical.

Enfin, la réunion a accepté le gabarit de puissance surfacique proposé dans le Rapport 387-1. Les résultats des études en question sont actuellement résumés dans l'Appendice 1 de l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R SF.358. Les satellites étaient supposés être uniformément répartis (3° à 6°) sur l'OSG. Chaque satellite était supposé produire à la surface de la Terre la puissance surfacique maximale autorisée par un gabarit de puissance surfacique à tous les angles d'arrivée.

Pour simuler des trajets de faisceaux hertziens à 50 bonds, une station située au centre du trajet était supposée se trouver à une certaine latitude (généralement 40°). Sa longitude a été choisie sous forme de paramètre aléatoire. L'angle d'azimut de la droite équivalente a été choisi de manière aléatoire dans une plage comprise entre 0° et 360°. La direction de l'antenne (azimut) de chaque station a été choisie de manière aléatoire à ± 25° de la droite équivalente. C'est ainsi qu'est déterminé l'emplacement de la station adjacente. On peut de cette manière déterminer l'emplacement de toutes les stations. La somme des brouillages causés par tous les satellites visibles a été ensuite calculée.

Il ressort des résultats des études de simulation que le brouillage global était inférieur à 1 000 pW sur la plupart des trajets de faisceaux hertziens et qu'il dépassait légèrement 1 000 pW seulement sur quelques trajets (moins de 10%).

La Réunion s'est efforcée ensuite d'établir de nouveaux gabarits de puissance surfacique pour les bandes de fréquences autres que la bande des 4 GHz. Il a été noté que de nombreux faisceaux hertziens fonctionnaient dans la gamme de fréquences comprise entre 2 et 15 GHz.

La Réunion a tenu compte du fait que la limite de puissance surfacique pourrait être accrue lorsque la fréquence d'exploitation passe de 10 à 30 GHz pour plusieurs raisons:

- plus grande absorption atmosphérique;
- températures de bruit plus élevées au niveau du récepteur;
- limites imposées à l'ouverture équivalente des antennes du service fixe par les tolérances de fabrication et par les largeurs angulaires minimales pour assurer un pointage précis.

En conclusion, la Réunion a décidé d'appliquer à la bande 3-8 GHz le gabarit de puissance surfacique proposé dans le Rapport 387-1, les gabarits suivants ayant été adoptés pour les autres bandes de fréquences:

- gabarit plus strict de 2 dB pour la bande 1,7-2,3 GHz, à titre provisoire;
- gabarit moins strict de 2 dB pour la bande 8-11,7 GHz;
- gabarit moins strict de 4 dB pour la bande 11,7-15,4 GHz.

Cependant, pour la bande 15,4-23 GHz, on a adopté une tout autre approche. Aucun système du service fixe ne fonctionnait à des fréquences supérieures à 15,4 GHz malgré d'intenses activités de recherche-développement au sein de diverses administrations. Il était donc difficile d'identifier des modèles de systèmes du service fixe à protéger. Par ailleurs, il n'existait aucun critère de protection.

La Réunion a reçu quatre contributions proposant des limites de puissance surfacique dans la bande 15,4-23 GHz. Il a été convenu que cette bande serait utilisée principalement par des systèmes numériques, d'où l'adoption d'une largeur de bande de référence de 1 MHz au lieu des 4 kHz adoptés pour des fréquences inférieures.

Il est intéressant de noter que trois contributions proposaient pratiquement les mêmes limites de puissance surfacique. Par contre, une contribution proposait une limite de puissance surfacique bien plus élevée. La réunion a débattu la question de savoir s'il existait des éléments techniques suffisants pour adopter une limite de puissance surfacique définitive. Elle a été assez audacieuse pour déclarer qu'il en était ainsi et a adopté, à la majorité, le gabarit de puissance surfacique de -115 et -105 dB(W/m²) dans une bande quelconque de 1 MHz pour de petits et de grands angles d'arrivée respectivement, valeurs qui figurent encore dans la dernière version de la Recommandation UIT-R SF.358.

5 Conférence administrative mondiale des télécommunications spatiales (Genève, 1971)

La CAMR-71 a attribué de nouvelles fréquences à divers services spatiaux, notamment le SFS, le SRS, le SMS et les services scientifiques spatiaux. Les limites de puissance surfacique énoncées dans le Rapport de la Réunion spéciale mixte de l'ex-CCIR (Genève, 1971) constituaient des éléments fondamentaux à examiner par la CAMR-71. La plupart de ces valeurs ont été incluses sans modification dans le RR comme limites de puissance surfacique applicables aux bandes nouvellement attribuées au SFS. En outre, elles ont été adoptées également comme limites de puissance surfacique pour certaines bandes attribuées aux services scientifiques spatiaux.

Une exception était la bande 2500-2690 MHz qui a été attribuée au SRS avec réception communautaire et pour laquelle la CAMR-71 a adopté une limite de -152 et -137 dB(W/m²) dans une bande de 4 kHz pour de petits et de grands angles d'arrivée respectivement. Cette décision a pris en compte un besoin spécial des systèmes du SRS et était fondée sur l'estimation selon laquelle peu de systèmes du SRS fonctionneraient dans cette bande.

6 Avis 358-2 de l'ex-CCIR (Genève, 1974)

L'Avis 358-2 de l'ex-CCIR, révisé en 1974, reprenait les conclusions de la Réunion spéciale mixte de l'ex-CCIR (Genève, 1971) et de la CAMR-71 sans modification quant au fond. Depuis lors, il a été maintenu sans modifications majeures, sous la forme de la Recommandation UIT-R SF.358.

Il convient de noter que la Recommandation UIT-R SF.358 a été élaborée dans le but de protéger les systèmes du service fixe principalement des émissions produites par les stations spatiales SFS OSG, mais qu'elle s'applique également aux stations spatiales SFS non OSG. Des analyses ont confirmé que cette Recommandation était applicable à un nombre limité de satellites non OSG.

7 Progrès des faisceaux hertziens numériques

L'Avis 358-2 de l'ex-CCIR (Genève, 1974) visait à protéger les faisceaux hertziens analogiques. Cela étant, la technique des faisceaux hertziens numériques a rapidement progressé depuis la fin des années 60. Le premier Avis de l'ex-CCIR traitant de la qualité de fonctionnement des faisceaux hertziens numériques a été l'Avis 594 adopté en 1982, qui spécifiait les objectifs de qualité globaux en matière d'erreur des faisceaux hertziens numériques sur un conduit numérique fictif de référence de 2 500 km.

En 1986 a été élaboré l'Avis 615 de l'ex-CCIR (la Recommandation UIT-R SF.615, plus récente, a été supprimée en 2003), qui spécifiait le brouillage maximal admissible causé par des systèmes du SFS aux faisceaux hertziens numériques. On a réalisé plusieurs études pour déterminer si l'Avis 358-2 était propre à protéger les faisceaux hertziens numériques. Ces études ont fait ressortir un important facteur. Le progrès de la technique des faisceaux hertziens numériques a permis d'améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre en mettant en œuvre la modulation multi-états, ce qui a rendu le système plus vulnérable au brouillage causé par les stations spatiales. Dans ces conditions, il a été jugé nécessaire d'introduire l'évitement orbital dans la conception des faisceaux hertziens numériques pour maintenir le brouillage causé par les stations spatiales du SFS dans les limites admissibles définies par l'ancienne Recommandation UIT-R SF.615. Ce facteur est discuté de façon plus détaillée à l'Appendice 3 de l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R SF.358.

Les limites de puissance surfacique énoncées dans l'Avis 358-2 de l'ex-CCIR (Genève, 1974) visaient à protéger les faisceaux hertziens analogiques pour lesquels l'évitement orbital n'avait pas été mis en œuvre. Cependant, depuis l'apparition des faisceaux hertziens numériques faisant appel à la modulation muti-états, il est devenu courant d'éviter l'OSG lors du choix du site des stations de réception du service fixe fonctionnant en partage avec le SFS (espace-Terre) (voir aussi la Note 2 de la Recommandation UIT-R SF.406 et le numéro 21.2 du RR).
