



## **Département des services spatiaux**

### **LIMITES DE PUISSANCE SURFACIQUE ÉQUIVALENTE (epfd)**

#### **1 Introduction**

La Résolution **85 (CMR-03)** porte sur l'application de l'Article 22 du Règlement des radiocommunications pour la protection des réseaux à satellite géostationnaire du service fixe par satellite et du service de radiodiffusion par satellite vis-à-vis des systèmes à satellites non géostationnaires du service fixe par satellite.

Dans la Résolution **85 (CMR-03)**, il est demandé au Bureau de vérifier si les assignations de fréquence:

- a) aux systèmes à satellites non OSG du SFS respectent les limites d'epfd indiquées dans les Tableaux **22-1A**, **22-1B**, **22-1C**, **22-1D**, **22-1E**, **22-2** et **22-3** de l'Article 22 du RR;
- b) à de grandes stations terriennes spécifiques (dans certaines conditions) doivent faire l'objet d'une coordination au titre du numéro **9.7A** du RR vis-à-vis de tout système à satellites non OSG existant qui utilise les valeurs de déclenchement de la coordination indiquées dans l'Appendice **5** du RR;
- c) aux systèmes à satellites non OSG du SFS doivent faire l'objet d'une coordination au titre du numéro **9.7B** du RR vis-à-vis d'une grande station terrienne (dans certaines conditions) qui utilise les valeurs de déclenchement de la coordination indiquées dans l'Appendice **5** du RR.

L'application de ces dispositions repose sur la vérification de l'epfd produite par les systèmes à satellites non OSG.

Le présent document donne des informations générales concernant l'application des limites d'epfd, en particulier dans des situations réglementaires faisant intervenir un partage entre des systèmes non OSG du SFS et des systèmes OSG du SFS/SRS.

#### **2 Systèmes à satellites non géostationnaires**

Les systèmes à satellites non géostationnaires (non OSG) sont les meilleurs qui existent pour la fourniture de communications en temps réel avec une couverture mondiale. Les systèmes non OSG du service fixe par satellite (SFS) permettent en principe de fournir des services large bande haut débit, y compris un accès Internet, aux domiciles et bureaux partout dans le monde, y compris aux endroits inaccessibles depuis les satellites géostationnaires. Un système type à satellite non

géostationnaire est constitué d'une ou de plusieurs stations spatiales situées en orbite terrestre basse ou moyenne et de stations passerelles, qui assurent la connexion avec les réseaux de Terre, afin que chaque utilisateur ait accès aux réseaux privés ou publics.

Compte tenu de la pénurie de fréquences appropriées, et afin de tirer parti de l'infrastructure existante, les systèmes non OSG du SFS utilisent des fréquences en partage avec les systèmes OSG du SFS et les systèmes OSG du service de radiodiffusion par satellite (SRS). Afin d'optimiser l'utilisation du spectre disponible, des dispositions réglementaires telles que les limites d'epfd indiquées dans l'Article 22 sont nécessaires pour faciliter le partage entre les systèmes non OSG du SFS et les systèmes OSG du SFS.

Un certain nombre de demandes de coordination et de notification sont actuellement soumises au Bureau concernant des systèmes non OSG. Tous ces systèmes présentent une configuration de l'orbite et des paramètres de constellation différents.

La plupart des systèmes ont un grand nombre de satellites, allant de quelques dizaines à plusieurs milliers. Plusieurs satellites, y compris d'un même système à satellites, peuvent émettre simultanément vers une zone géographique donnée. Cette situation a entraîné la nécessité de prendre en compte les points ci-après dans le calcul des brouillages causés par un réseau non OSG à une station fixe sur la Terre ou sur l'OSG:

- l'emplacement des stations brouilleuses n'est pas connu à l'avance;
- en raison du déplacement constant de la source de brouillage par rapport à une station de réception fixe, il convient de prendre en considération les propriétés statistiques des brouillages;
- il se peut que plusieurs stations brouilleuses émettent simultanément, ce qui a pour effet d'augmenter le niveau de brouillage cumulatif.

Ces facteurs ont obligé à trouver des critères appropriés pour évaluer les brouillages causés par le SFS non OSG au SFS OSG.

### **3 Qu'est-ce que l'epfd?**

La notion d'epfd a été adoptée par la CMR-97 afin de faciliter la mise en œuvre des systèmes non OSG du service fixe par satellite dans certaines bandes Ku et Ka utilisées en partage avec les systèmes OSG du SFS.

La CMR-97 a adopté des limites «strictes» d'epfd (ne devant en aucun cas être dépassées) pour les émissions des systèmes non OSG et a donné une définition de l'epfd différente de celle de la puissance surfacique. En effet, la définition de la puissance surfacique équivalente (epfd), donnée par la CMR-97, prend en compte l'ensemble des émissions des satellites non OSG dans la direction d'une station terrienne OSG quelconque, eu égard à la directivité de l'antenne du système OSG. Le respect de ces limites strictes permet à des systèmes non OSG du SFS d'utiliser des fréquences en partage avec des systèmes OSG et d'assurer la protection de ces derniers, sans qu'il soit nécessaire de coordonner chaque système avec tous les systèmes fonctionnant dans le monde.

L'epfd est définie comme suit dans l'Article 22 du RR:

**22.5C.1** La puissance surfacique équivalente est définie comme étant la somme des puissances surfaciques produites au niveau d'une station de réception du système à satellites géostationnaires à la surface de la Terre ou sur l'orbite des satellites géostationnaires, selon le cas, par toutes les stations d'émission d'un système à satellites non géostationnaires, compte tenu de la discrimination hors axe d'une antenne de réception de référence que l'on suppose pointée dans sa direction nominale. Elle est calculée à l'aide de la formule suivante:

$$epfd = 10 \log_{10} \left[ \sum_{i=1}^{N_a} 10^{\frac{P_i}{10}} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{4 \pi d_i^2} \cdot \frac{G_r(\varphi_i)}{G_{r,max}} \right]$$

où:

- $N_a$ : nombre de stations d'émission du système à satellites non géostationnaires visibles depuis la station de réception du système à satellites géostationnaires considérée à la surface de la Terre ou sur l'orbite des satellites géostationnaires, selon le cas
- $i$ : indice de la station d'émission considérée du système à satellites non géostationnaires
- $P_i$ : puissance RF à l'entrée de l'antenne de la station d'émission considérée du système à satellites non géostationnaires (dBW) dans la largeur de bande de référence
- $\theta_i$ : angle hors axe entre l'axe de visée de la station d'émission considérée du système à satellites non géostationnaires et la direction de la station de réception du système à satellites géostationnaires
- $G_t(\theta_i)$ : gain (sous forme d'un rapport) de l'antenne d'émission de la station considérée du système à satellites non géostationnaires dans la direction de la station de réception du système à satellites géostationnaires
- $d_i$ : distance (m) entre la station d'émission considérée du système à satellites non géostationnaires et la station de réception du système à satellites géostationnaires
- $\varphi_i$ : angle hors axe entre l'axe de visée de l'antenne de la station de réception du système à satellites géostationnaires et la direction de la  $i$ -ème station d'émission considérée du système à satellites non géostationnaires
- $G_r(\varphi_i)$ : gain (sous forme d'un rapport) de l'antenne de la station de réception du système à satellites géostationnaires dans la direction de la  $i$ -ème station d'émission considérée du système à satellites non géostationnaires
- $G_{r,max}$ : gain maximal (sous forme d'un rapport) de l'antenne de la station de réception du système à satellites géostationnaires
- $epfd$ : puissance surfacique équivalente calculée (dB(W/m<sup>2</sup>)) dans la largeur de bande de référence. (CMR-2000)

FIGURE 1

**Configuration utilisée pour le calcul de l'epfd sur la liaison descendante**

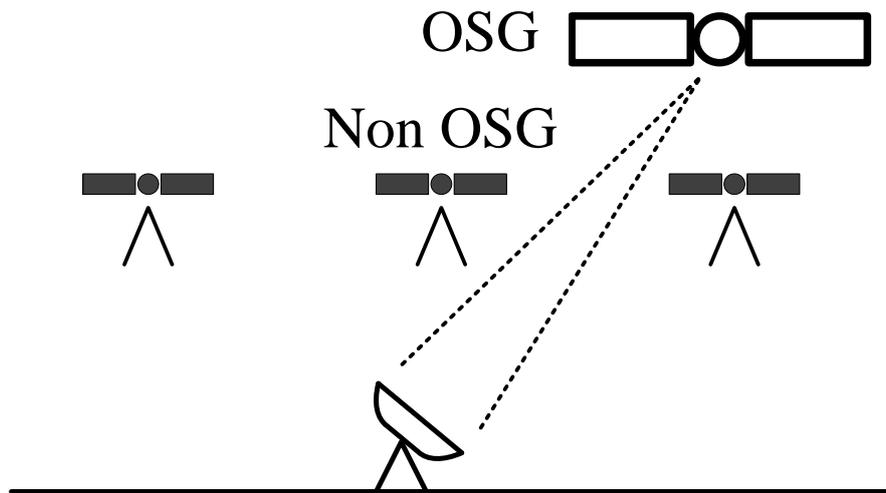


FIGURE 2

**Configuration utilisée pour le calcul de l'epfd sur la liaison montante**

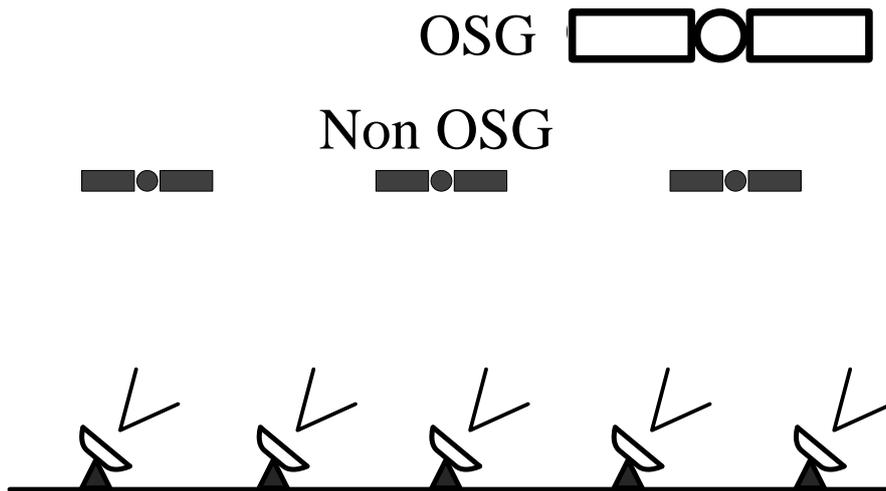
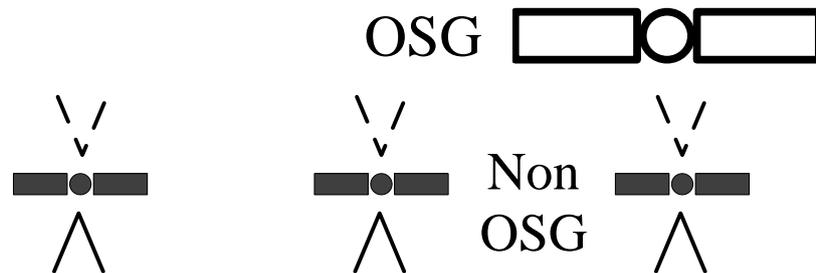


FIGURE 3

**Configuration utilisée pour le calcul de l'epfd sur le trajet inter-satellites**



Comme la puissance surfacique, l'epfd est calculée au niveau de l'antenne de réception. Mais, contrairement à la puissance surfacique, l'EFPD tient compte du pointage des antennes par rapport à chaque source de brouillage.

Lorsqu'une antenne reçoit simultanément, dans sa largeur de bande de référence, une puissance émanant de plusieurs émetteurs situés à des distances diverses, suivant des directions variées et émettant divers niveaux de puissance surfacique incidente, l'epfd est équivalente à la puissance surfacique qui, générée par un émetteur unique situé dans le champ lointain de l'antenne dans la direction du gain maximal, produirait à l'entrée du récepteur une puissance égale à la somme des puissances effectivement reçues en provenance des divers émetteurs.

Avec cette notion, on a besoin de connaître très peu de paramètres des systèmes de réception. En fait, il suffit de connaître le diagramme de référence de l'antenne, le diamètre de l'antenne et le gain d'antenne maximal associé pour caractériser le brouillage pour la classe considérée de système de réception. L'Article 22 donne les gabarits limites pour un certain nombre de configurations de stations terriennes de réception dont le diamètre d'antenne va de 30 cm à 5 mètres, et jusqu'à 15 mètres dans le cas particulier de la bande 3 700-4 200 MHz.

#### **4 L'epfd dans le Règlement des radiocommunications**

Actuellement, la notion d'epfd est largement utilisée dans le Règlement des radiocommunications dans les cas suivants:

- 1) Limites strictes d'epfd appliquées aux systèmes à satellites non OSG du SFS pour protéger le SFS/SRS OSG conformément à l'Article 22.
- 2) Limites d'epfd déclenchant la coordination applicables au SFS non OSG et au SFS OSG au titre des numéros 9.7A et 9.7B du RR.
- 3) Limites d'epfd applicables aux systèmes à satellites non géostationnaires fonctionnant dans différents services de radiocommunication afin de protéger les stations de radioastronomie fonctionnant dans un certain nombre de bandes de fréquences. Voir les Résolutions 739 (Rév.CMR-15), 741 (Rév.CMR-15) et 743 (CMR-03).
- 4) Protection des systèmes du service de radionavigation aéronautique contre la puissance surfacique équivalente produite par les réseaux et les systèmes du service de radionavigation par satellite dans la bande 1 164-1 215 MHz. Voir la Résolution 609 (Rév.CMR-07).

Toutefois, le Bureau n'est tenu de vérifier si les assignations de fréquence à un système non OSG respectent les limites indiquées dans l'Article 22 que dans les deux premiers cas.

À cette fin, la CMR-2000 a demandé au Bureau d'encourager les administrations à élaborer le logiciel de validation des limites d'epfd qui serait utilisé par ce dernier pour formuler ses conclusions en application de l'Article **22** et des numéros **9.7A** et **9.7B**.

## **5 Logiciel de validation des limites d'epfd**

La méthode utilisée dans le logiciel de validation des limites d'epfd est fondée sur la Recommandation UIT-R S.1503-2, qui contient une description détaillée des données d'entrée nécessaires pour calculer les limites d'epfd et les valeurs de déclenchement de la coordination indiquées dans l'Article **22** et dans l'Appendice **5** du Règlement des radiocommunications.

Il s'agit d'une méthode complexe et le Bureau a estimé qu'au moins deux mises en œuvre indépendantes de la Recommandation UIT-R S.1503 seraient nécessaires pour améliorer la maîtrise des outils logiciels. En conséquence, deux sociétés commerciales de développement de logiciels ont mis au point des outils epfd permettant de vérifier la conformité à l'Article **22** ou les conditions régissant la coordination au titre des numéros **9.7A** et **9.7B**.

En 2016, le Bureau a mis au point les outils logiciels, conformément à la Recommandation UIT-R S.1503-2.

Les détails relatifs au logiciel de validation des limites d'epfd que le Bureau utilise pour procéder à l'examen, conformément à la Résolution **85 (CMR-03)**, sont disponibles à l'adresse suivante: <https://www.itu.int/ITU-R/go/space-epfd>.

La plupart des informations requises pour effectuer des examens à l'aide d'un logiciel figurent dans la base de données SRS. Toutefois, en raison de la complexité des configurations des différentes constellations non OSG, il est difficile de simuler les configurations exactes de trafic et les paramètres d'émission des systèmes.

À cette fin, dans la Recommandation UIT-R S.1503-2, une définition est donnée de la notion de gabarit de puissance surfacique/p.i.r.e. produite par les stations brouilleuses d'un réseau non OSG. Le gabarit tiendrait compte de toutes les caractéristiques des configurations spécifiques du système non OSG.

Ces gabarits peuvent contenir des volumes très importants de données. Pour que les administrations puissent soumettre les données relatives aux gabarits par voie électronique et pour que celles-ci puissent être utilisées directement par l'outil logiciel relatif à l'epfd, le Bureau a mis au point un format XML pour les gabarits de puissance surfacique et de p.i.r.e.

Le logiciel de validation des limites d'epfd est intégré au logiciel GIBC du BR afin de procéder à des examens transparents en suivant la même méthode que pour les examens actuellement menés à l'aide des modules Appendix 8/PFD du logiciel GIBC.

Pour en savoir plus sur le plan technique, veuillez consulter le guide de l'utilisateur (disponible en ligne à l'adresse <https://www.itu.int/ITU-R/go/space-epfd>) et les documents des ateliers consacrés à la validation des limites d'epfd.

Pour toute question technique, veuillez contacter le Bureau des radiocommunications à l'adresse: [epfd-support@itu.int](mailto:epfd-support@itu.int).

## **6 Processus d'examen des limites d'epfd**

La Lettre circulaire [CR/414](#) du 6 décembre 2016 contient des précisions sur le processus d'examen des limites d'epfd dans les cas où des conclusions favorables conditionnelles ont été précédemment formulées. Les données d'entrée soumises et les résultats de l'examen peuvent être consultés à l'adresse: <https://www.itu.int/ITU-R/go/space-epfd-data>.