

# UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

## Recommandation UIT-R S.1673-1 (01/2010)

**Méthodes de calcul des niveaux de brouillage, dans le cas le plus défavorable, causés par un système à satellite non géostationnaire de type HEO du service fixe par satellite à des réseaux à satellite géostationnaire du service fixe par satellite exploités dans les bandes de fréquences comprises entre 10 et 30 GHz**

**Série S**  
**Service fixe par satellite**



## 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
<b>BO</b>	Diffusion par satellite
<b>BR</b>	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
<b>BS</b>	Service de radiodiffusion sonore
<b>BT</b>	Service de radiodiffusion télévisuelle
<b>F</b>	Service fixe
<b>M</b>	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
<b>P</b>	Propagation des ondes radioélectriques
<b>RA</b>	Radio astronomie
<b>RS</b>	Systèmes de télédétection
<b>S</b>	<b>Service fixe par satellite</b>
<b>SA</b>	Applications spatiales et météorologie
<b>SF</b>	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
<b>SM</b>	Gestion du spectre
<b>SNG</b>	Reportage d'actualités par satellite
<b>TF</b>	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
<b>V</b>	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 S.1673-1

**Méthodes de calcul des niveaux de brouillage, dans le cas le plus défavorable, causés par un système à satellite non géostationnaire de type HEO du service fixe par satellite\* à des réseaux à satellite géostationnaire du service fixe par satellite exploités dans les bandes de fréquences comprises entre 10 et 30 GHz**

(Question UIT-R 231/4)

(2003-2010)

**Domaine d'application**

La présente Recommandation décrit des méthodes permettant d'évaluer les niveaux de brouillage, dans le cas le plus défavorable, causés par un système à satellite non géostationnaire de type HEO du service fixe par satellite à un réseau à satellite géostationnaire exploité dans le même service. Les méthodes décrites dans la présente Recommandation sont applicables aux bandes de fréquences comprises entre 10 et 30 GHz. Elles reposent sur les hypothèses les plus défavorables, ce qui conduit à surestimer les niveaux réels des brouillages.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que, conformément au Règlement des radiocommunications (RR), on peut utiliser de nombreuses bandes de fréquences du SFS pour les réseaux à satellite OSG et pour les réseaux à satellite non OSG;
- b) que les systèmes non OSG du SFS ne doivent pas causer de brouillages inacceptables aux réseaux OSG du SFS, conformément aux dispositions du RR;
- c) que dans certaines bandes de fréquences du SFS, le niveau de brouillage acceptable causé par des systèmes non OSG à des réseaux OSG a été évalué en fonction de limites de puissance surfacique équivalente  $epfd_{\uparrow}$  et  $epfd_{\downarrow}$ , et que ces limites sont précisées dans l'Article 22 du RR pour des bandes de fréquences particulières;
- d) que les administrations peuvent avoir besoin de calculer les niveaux des brouillages (y compris dans le cas le plus défavorable) causés par un système non OSG à un réseau OSG quelconque dans les bandes de fréquences du SFS autres que celles pour lesquelles les limites d' $epfd_{\uparrow}$  et d' $epfd_{\downarrow}$  sont indiquées dans le RR;
- e) que des méthodes ont été élaborées compte tenu des dispositions du RR pour évaluer les niveaux des brouillages causés par des systèmes non OSG à des réseaux OSG;
- f) que les méthodes visées au point e) du *considérant* sont surtout fondées sur des systèmes non OSG du SFS utilisant des orbites circulaires de faible ou moyenne altitude et qu'une méthode simplifiée pourrait convenir pour le calcul des brouillages causés à des réseaux OSG du SFS par des systèmes non OSG de type HEO du SFS (voir la Note 1), dont des portions limitées servent d'arcs «actifs» d'exploitation, séparés spatialement de l'OSG,

---

\* Voir la Recommandation UIT-R S.1758 pour une caractérisation des systèmes de type HEO (*high Earth orbit - orbite terrestre haute*) fonctionnant dans le SFS.

*reconnaissant*

a) que la Section II de l'Article 22 du RR prévoit le "contrôle des brouillages causés aux systèmes à satellites géostationnaires",

*notant*

a) que des études sur la mise en œuvre de systèmes non OSG de type HEO du SFS dans la gamme de fréquences 10-30 GHz ont également été effectuées;

b) que dans les bandes de fréquences autres que celles visées au point c) du *considérant* susmentionné, il revient aux administrations affectées de déterminer si un système non OSG du SFS cause des brouillages inacceptables à un réseau OSG du SFS;

c) que les systèmes non OSG de type HEO du SFS visés au point a) du *notant* se caractérisent par l'utilisation d'arcs opérationnels ou «actifs» limités qui, s'ils diffèrent en taille selon le système, sont séparés spatialement de l'OSG,

*recommande*

**1** de calculer le niveau des brouillages, dans le cas le plus défavorable, causés par un système non OSG de type HEO du SFS décrit dans le *notant* susmentionné à un réseau OSG du SFS, en considérant que tous les satellites non OSG de ce système émettant aux mêmes fréquences vers la même zone de la Terre rayonnent à leur niveau maximum de puissance surfacique;

**2** d'utiliser, dans le cas de systèmes non OSG de type HEO du SFS dans certaines bandes de fréquences comprises entre 10 et 30 GHz, lorsque les limites d'epfd $\uparrow$  et d'epfd $\downarrow$  ne sont pas précisées dans le RR (voir la Note 2), la méthode exposée dans l'Annexe 1 de la présente Recommandation pour calculer les niveaux des brouillages (dans le cas le plus défavorable) causés à des réseaux OSG du SFS par ces systèmes non OSG de type HEO du SFS (voir les Notes 3, 4 et 5);

**3** d'utiliser, dans le cas de systèmes non OSG de type HEO du SFS dans certaines bandes de fréquences comprises entre 10 et 30 GHz, lorsque les limites d'epfd $\uparrow$  et d'epfd $\downarrow$  sont précisées dans le RR (voir la Note 2), la méthode présentée dans l'Annexe 2 de la présente Recommandation pour calculer les niveaux des brouillages (dans le cas le plus défavorable) causés à des réseaux OSG du SFS par ces systèmes non OSG de type HEO du SFS (voir les Notes 4 et 6).

NOTE 1 – Dans le cadre de la présente Recommandation, on considère qu'un système à satellites utilisant l'une des orbites décrites ci-après appartient à la catégorie des systèmes à satellites non géostationnaires de type HEO (notons par ailleurs que les satellites d'un tel système sont opérationnels uniquement sur l'arc actif):

- une orbite ayant une excentricité au moins égale à 0,05, une inclinaison comprise entre 35 et 145°, une apogée au moins égale à 18000 km et une période égale à la période géosynchrone (23 h, 56 min) multipliée par  $m/n$ ,  $m$  et  $n$  étant des entiers (le rapport  $m/n$  peut être inférieur, égal ou supérieur à un); ou
- une orbite circulaire (d'excentricité au plus égale à 0,005) ayant une période géosynchrone (23 h, 56 min) et une inclinaison comprise entre 35 et 145°.

NOTE 2 – Les limites d'epfd $\uparrow$  et d'epfd $\downarrow$  indiquées dans le RR s'appliquent aux bandes de fréquences 10,7-13,25, 13,75-14,5, 17,3-18,6, 19,7-20,2, 27,5-28,6 et 29,5-30,0 GHz.

NOTE 3 – La méthode décrite dans l'Annexe 1 complète celle de la Recommandation UIT-R S.1560 applicable aux bandes de fréquences des 4 et 6 GHz.

NOTE 4 – Les méthodes décrites dans la présente Recommandation reposent sur les hypothèses les plus défavorables, ce qui conduit à surestimer les niveaux réels des brouillages. Pour certains systèmes, (en particulier ceux présentant des variations en termes de pointage de faisceau, de

fréquence, de puissance, d'affaiblissement sur le trajet et/ou de nombre de satellites illuminant simultanément une zone de service), la surestimation risque d'être considérable. Des techniques d'analyse plus fines pourraient être utilisées pour évaluer de manière plus détaillée les profils de brouillage, afin de déterminer les niveaux de brouillage réalistes ainsi que leur probabilité d'occurrence.

NOTE 5 – On trouvera dans l'Annexe 3 un exemple d'utilisation de la méthode mentionnée au point 2 du *recommande* et applicable à un système non OSG de type HEO du SFS.

NOTE 6 – On trouvera dans l'Annexe 4 un exemple d'utilisation de la méthode mentionnée au point 3 du *recommande* et applicable à un système non OSG de type HEO du SFS.

## Annexe 1

### **Méthode de calcul des niveaux de brouillage, dans le cas le plus défavorable, causés par un système à satellites non géostationnaires de type HEO du SFS à des réseaux à satellite géostationnaire du SFS exploités dans des bandes de fréquences comprises entre 10 et 30 GHz lorsque les limites d'epfd $\uparrow$ et d'epfd $\downarrow$ ne sont pas précisées dans le RR**

Il convient d'utiliser la méthode suivante pour calculer les niveaux potentiels des brouillages causés par des systèmes non OSG de type HEO du SFS exploités aux mêmes fréquences à des réseaux OSG du SFS, fonctionnant dans des bandes de fréquences comprises entre 10 et 30 GHz lorsque les limites d'epfd $\uparrow$  et d'epfd $\downarrow$  ne sont pas précisées dans le RR.

#### **1 Données relatives au système non OSG du SFS**

Les informations suivantes relatives au système non OSG du SFS sont nécessaires:

##### *Emissions espace vers Terre*

$\theta_{D-min}$ : espacement angulaire minimal au niveau d'une station terrienne OSG du SFS entre la droite de visibilité directe vers l'un des satellites non OSG actifs d'émission et la droite de visibilité directe vers le satellite OSG associé (degrés).

$pf_{D-non\ OSG-max}$ : puissance surfacique maximale rayonnée à la surface de la Terre au niveau de la station terrienne du réseau OSG du SFS par chaque satellite non OSG de la constellation (dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz))).

$N_D$ : nombre maximum de satellites non OSG d'un système à satellites utilisant des orbites terrestres hautes, émettant aux mêmes fréquences vers la même zone de la Terre. Une indication du nombre de ces satellites en fonction du pourcentage de temps est nécessaire.

##### *Emissions Terre vers espace*

$\theta_{U-min}$ : espacement angulaire minimal au niveau d'une station terrienne non OSG d'émission du SFS entre la droite de visibilité directe vers l'orbite OSG et la droite de visibilité directe vers le satellite non OSG associé (degrés).

- $p.i.r.e.non\ OSG-max$ : valeur maximale de la densité spectrale de p.i.r.e. hors axe rayonnée par la station terrienne non OSG d'émission, dans le cas d'un espacement angulaire minimal ( $\theta_{U-min}$ ) (dB(W/Hz)).
- $N_U$ : nombre maximum de stations terriennes non OSG d'émission fonctionnant aux mêmes fréquences et appartenant à un système à satellites utilisant des orbites terrestres hautes, situées sur une zone de la Terre susceptible d'être visée par un seul faisceau de réception de satellite OSG.

## 2 Données relatives au réseau OSG du SFS

Les informations suivantes relatives au réseau OSG sont nécessaires:

### *Sensibilité de la station terrienne de réception*

- $G_{OSG-ES-max}$ : gain hors axe maximum supposé de la station terrienne OSG de réception dans la direction correspondant à l'espacement angulaire minimal ( $\theta_{D-min}$ ) par rapport au satellite non OSG, lorsque ce dernier se trouve en phase d'émission active (dBi).
- $T_{OSG-ES}$ : température de bruit supposée du système de réception par ciel clair (y compris le bruit d'antenne de réception) sur la liaison OSG descendante. Il n'est pas nécessaire, si l'on se place dans des hypothèses prudentes, de tenir compte des dégradations subies par la liaison globale par suite du brouillage sur la liaison montante (K).

### *Sensibilité du satellite à la réception*

- $G_{OSG-SS-max}$ : gain maximum supposé de l'antenne de réception du satellite OSG (dBi).
- $T_{OSG-SS}$ : température de bruit supposée du système de réception par ciel clair sur la liaison OSG montante. Il n'est pas nécessaire, si l'on se place dans des hypothèses prudentes, de tenir compte des dégradations subies par la liaison globale par suite du brouillage sur la liaison descendante (K).

## 3 Calcul des brouillages subis par le réseau OSG sur la liaison descendante

Les trois étapes suivantes permettent de calculer la dégradation de la température de bruit du système de réception du réseau OSG sur la liaison descendante par suite des brouillages causés par un système à satellites non OSG:

*Etape D1*: calculer la valeur maximale de la densité spectrale de puissance (DSP) du signal brouilleur ( $I_{0-ES}$ ) rayonnée par un seul satellite non OSG au niveau de la sortie d'antenne de la station terrienne OSG:

$$I_{0-ES} = pfd_{D-non\ OSG-max} + G_{OSG-ES-max} + 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \quad \text{dB(W/Hz)} \quad (1)$$

où  $\lambda$  est la longueur d'onde (m).

*Etape D2*: calculer la DSP de bruit ( $N_0$ ) au niveau de la sortie d'antenne de la station terrienne OSG:

$$N_{0-ES} = 10 \log(kT_{OSG-ES}) \quad \text{dB(W/Hz)} \quad (2)$$

où  $k$  est la constante de Boltzmann.

*Etape D3:* calculer la dégradation de la température de bruit du système de réception sur la liaison descendante ( $\Delta T/T_D$ ) due au brouillage causé par la constellation de satellites non OSG:

$$\Delta T/T_D = N_D 10^{\left(\frac{I_{0-ES} - N_{0-ES}}{10}\right)} \quad (3)$$

#### 4 Calcul des brouillages subis par le réseau OSG du SFS sur la liaison montante

Les quatre étapes suivantes permettent de calculer la dégradation de la température de bruit du système de réception du réseau OSG sur la liaison montante en raison des brouillages causés par un système à satellites non OSG du SFS:

*Etape U1:* calculer la valeur maximale de la densité spectrale de puissance surfacique rayonnée au niveau de la station spatiale OSG ( $pdf_{U-non\ OSG-max}$ ) par une seule station terrienne non OSG d'émission. Il convient de noter qu'en utilisant cette équation, on suppose que la station terrienne non OSG d'émission se trouve à distance minimale d'un satellite OSG. On notera également que l'espacement angulaire correspondant est alors supérieur à l'espacement angulaire minimal utilisé dans l'analyse. Le brouillage reçu sera donc surestimé.

$$pdf_{U-non\ OSG-max} = p.i.r.e_{non\ OSG-max} - 10 \log(4\pi(35\ 786)^2) - 60 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))} \quad (4)$$

*Etape U2:* Calculer la DSP du signal brouilleur ( $I_{0-SS}$ ) au niveau de la sortie d'antenne de la station spatiale OSG:

$$I_{0-SS} = pdf_{U-non\ OSG-max} + G_{OSG-SS-max} + 10 \log\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) \quad \text{dB(W/Hz)} \quad (5)$$

où  $\lambda$  est la longueur d'onde (m).

*Etape U3:* Calculer la DSP de bruit ( $N_0$ ) au niveau de la sortie d'antenne de la station spatiale OSG:

$$N_{0-SS} = 10 \log(k T_{OSG-SS}) \quad \text{dB(W/Hz)} \quad (6)$$

où  $k$  est la constante de Boltzmann.

*Etape U4:* Calculer la dégradation de la température de bruit du système de réception sur la liaison montante ( $\Delta T/T_U$ ):

$$\Delta T/T_U = N_U 10^{\left(\frac{I_{0-SS} - N_{0-SS}}{10}\right)} \quad (7)$$

#### 5 Cas de plusieurs systèmes non OSG du SFS

La méthode ci-dessus est utile pour calculer les brouillages dus à une seule source causés par un système. Elle n'est pas applicable au cas de  $M$  systèmes non OSG du SFS de ce type partageant les mêmes bandes de fréquences car les niveaux maximaux de DSP du signal brouilleur produits par un système non OSG du SFS et l'espacement angulaire minimal par rapport à l'arc OSG peuvent varier selon le système considéré.

Pour appliquer le principe de la méthode susmentionnée au cas de plusieurs systèmes non OSG du SFS, il convient de procéder par étapes comme indiqué ci-après.

- Après les étapes D1 et U2, il convient de calculer comme suit les niveaux de DSP du signal brouilleur cumulatif sur les liaisons montantes ou descendantes en sommant chacun des niveaux de brouillage causé par une seule source pour les  $M$  systèmes non OSG du SFS:

*Etape D1m:* Calculer la valeur maximale de la DSP du signal brouilleur cumulatif ( $I_{A-0-ES}$ ) (dB(W/Hz)) émis par les satellites non OSG de  $M$  systèmes non OSG au niveau de la sortie d'antenne de la station terrienne OSG du SFS:

$$I_{A-0-ES} = 10 \log \sum_{m=1}^M 10^{\left[ \frac{I_{0-ES-m}}{10} \right]} \quad \text{dB(W/Hz)} \quad (8)$$

$I_{0-ES-m}$  est la valeur maximale de la DSP du signal brouilleur cumulatif émis par les satellites non OSG du  $m^{\text{ème}}$  système non OSG. Elle est obtenue au moyen de l'équation suivante:

$$I_{0-ES-m} = I_{0-ES} + 10 \log N_{D-m} \quad \text{dB(W/Hz)} \quad (9)$$

$N_{D-m}$  est le nombre maximal de satellites du  $m^{\text{ème}}$  système non OSG du SFS utilisant des orbites terrestres hautes, qui émettent aux mêmes fréquences vers la même zone de la Terre.

*Etape D3m:* le rapport  $\Delta T/T_{Dm}$ , dans le cas de  $N$  systèmes non OSG du SFS, peut être calculé comme suit en utilisant les valeurs obtenues aux étapes D1m et D2.

$$\frac{\Delta T}{T_{Dm}} = 10^{\left[ \frac{I_{A-0-ES} - N_{0-ES}}{10} \right]} \quad (10)$$

*Etape U2m:* calculer la valeur maximale de la DSP du signal brouilleur cumulatif ( $I_{A-0-SS}$ ) (dB(W/Hz)) émis par les stations terriennes de  $M$  systèmes non OSG au niveau de la sortie d'antenne de la station spatiale OSG du SFS:

$$I_{A-0-SS} = 10 \log \sum_{m=1}^M 10^{\left[ \frac{I_{0-SS-m}}{10} \right]} \quad \text{dB(W/Hz)} \quad (11)$$

$I_{0-SS-m}$  est la valeur maximale de la DSP du signal brouilleur cumulatif émis par les stations terriennes du  $m^{\text{ème}}$  système non OSG. Elle est obtenue au moyen de l'équation suivante:

$$I_{0-SS-m} = I_{0-SS} + 10 \log N_{U-m} \quad \text{dB(W/Hz)} \quad (12)$$

$N_{U-m}$  est le nombre maximum de stations terriennes d'émission du  $m^{\text{ième}}$  système non OSG du SFS utilisant des orbites terrestres hautes, émettant aux mêmes fréquences et situées sur une zone de la Terre susceptible d'être visée par un seul faisceau de réception de satellite OSG.

*Etape U4m:* la dégradation causée sur la liaison montante d'un système de réception par  $M$  systèmes non OSG du SFS,  $\Delta T/T_{Um}$ , peut être calculée comme suit en utilisant les valeurs obtenues aux étapes U2m et U3.

$$\frac{\Delta T}{T_{Um}} = 10^{\left[ \frac{I_{A-0-SS} - N_{0-SS}}{10} \right]} \quad (13)$$



## Annexe 2

### Méthode de calcul des niveaux des brouillages, dans le cas le plus défavorable, causés par un système à satellites non OSG de type HEO du SFS à des réseaux à satellite OSG du SFS exploités dans des bandes de fréquences comprises entre 10 et 30 GHz lorsque les limites d'epfd $\uparrow$ et d'epfd $\downarrow$ sont précisées dans le RR

Il convient d'utiliser la méthode suivante pour calculer les niveaux des brouillages causés, dans le cas le plus défavorable, par des systèmes non OSG de type HEO du SFS exploités aux mêmes fréquences à des réseaux OSG du SFS fonctionnant dans des bandes de fréquences comprises entre 10 et 30 GHz lorsque les limites d'epfd $\uparrow$  et d'epfd $\downarrow$  sont précisées dans le RR.

#### 1 Données relatives au système non OSG du SFS

Les informations suivantes relatives au système non OSG du SFS sont nécessaires:

##### *Emissions espace vers Terre*

$\theta_{D-min}$ : espacement angulaire minimal au niveau d'une station terrienne OSG du SFS entre la droite de visibilité directe vers l'un des satellites non OSG actifs d'émission et la droite de visibilité directe vers le satellite OSG associé (degrés).

$pf_{D-non\ OSG-max}$ : puissance surfacique maximale rayonnée à la surface de la Terre au niveau de la station terrienne du réseau OSG du SFS par chaque satellite non OSG de la constellation (dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz))).

$N_D$ : nombre maximum de satellites non OSG d'un système à satellites utilisant des orbites terrestres hautes, émettant aux mêmes fréquences vers la même zone de la Terre. Une indication du nombre de ces satellites en fonction du pourcentage de temps est nécessaire.

##### *Emissions Terre vers espace*

$\theta_{U-min}$ : espacement angulaire minimal au niveau d'une station terrienne non OSG d'émission du SFS entre la droite de visibilité directe vers l'orbite OSG et la droite de visibilité directe vers le satellite non OSG associé (degrés).

$p.i.r.e_{non\ OSG-max}$ : valeur maximale de la densité spectrale de p.i.r.e. hors axe rayonnée par la station terrienne non OSG d'émission, dans le cas d'un espacement angulaire minimal ( $\theta_{U-min}$ ) (dB(W/Hz)).

$N_U$ : nombre maximum de stations terriennes non OSG d'émission fonctionnant aux mêmes fréquences et appartenant à un système à satellites utilisant des orbites terrestres hautes, situées sur une zone de la Terre susceptible d'être visée par un seul faisceau de réception de satellite OSG.

## 2 Données relatives au réseau OSG du SFS

Les informations suivantes relatives au réseau OSG sont nécessaires:

### *Sensibilité de la station terrienne de réception*

$G_{OSG-ES-max}$ : gain hors axe maximum supposé de la station terrienne OSG de réception dans la direction correspondant à l'espacement angulaire minimal ( $\theta_{D-min}$ ) par rapport au satellite non OSG, lorsque ce dernier se trouve en phase d'émission active (dBi).

$G_{OSG-ES}$ : gain maximum supposé de l'antenne de la station terrienne OSG de réception (dBi).

### *Sensibilité du satellite à la réception*

$G_{OSG-SS-max}$ : gain maximum supposé par rapport à l'axe du faisceau principal de l'antenne de réception du satellite OSG (dBi).

$G_{OSG-SS}$ : gain maximum supposé de l'antenne de réception du satellite OSG (dBi).

## 3 Calcul des brouillages subis par le réseau OSG du SFS sur la liaison descendante

Les deux étapes suivantes permettent de calculer les niveaux d' $epfd_{\downarrow}$  rayonnée au niveau des stations terriennes du réseau OSG du SFS par un système non OSG du SFS:

*Etape D1*: calculer le niveau d' $epfd_{\downarrow}$  rayonnée au niveau de la sortie d'antenne d'une station terrienne OSG par un seul satellite:

$$epfd_{\downarrow} = pfd_{D-non\ OSG-max} + G_{OSG-ES-max} - G_{OSG-ES} \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))} \quad (14)$$

*Etape D2*: Calculer les niveaux d' $epfd_{\downarrow}$  rayonnée au niveau de la sortie d'antenne d'une station terrienne OSG par une constellation de satellites non OSG:

$$epfd_{\downarrow} = epfd_{\downarrow} + 10 \log N_D \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))} \quad (15)$$

Il convient de noter que, dans l'équation (15), la valeur d' $epfd_{\downarrow}$  se rapporte à une largeur de bande de référence de 1 Hz. Pour obtenir cette valeur pour une largeur de bande de référence de  $F$  kHz, on ajoute  $10 \log(1000F)$  (dB).

## 4 Calcul des brouillages subis par le réseau OSG du SFS sur la liaison montante

Les trois étapes suivantes permettent de calculer les niveaux d' $epfd_{\uparrow}$  rayonnée au niveau du satellite du réseau OSG du SFS par un système non OSG du SFS:

*Etape U1*: calculer la valeur maximale de la densité spectrale de puissance surfacique rayonnée au niveau de la station spatiale OSG ( $pfd_{U-non\ OSG-max}$ ) par une seule station terrienne non OSG d'émission. Il convient de noter qu'en utilisant cette équation, on suppose que la station terrienne non OSG d'émission se trouve à distance minimale d'un satellite OSG. On notera également que l'espacement angulaire correspondant est alors supérieur à l'espacement angulaire minimal utilisé dans l'analyse. Le brouillage reçu sera donc surestimé.

$$pfd_{U-non\ OSG-max} = p.i.r.e.-non\ OSG-max - 10 \log(4\pi(35786)^2) - 60 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))} \quad (16)$$

*Etape U2*: calculer la valeur maximale d' $epfd_{\uparrow}$  au niveau de la sortie d'antenne de la station spatiale OSG:

$$epfd_{\uparrow} = pfd_{U-non\ OSG-max} + G_{OSG-SS-max} - G_{OSG-SS} \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))} \quad (17)$$

*Etape U3:* calculer la valeur d' $epfd_{\uparrow}$  cumulative au niveau de la sortie d'antenne de la station spatiale OSG:

$$\text{Valeur d}'epfd_{\uparrow} \text{ cumulative} = epfd_{\uparrow} + 10 \log N_u \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))} \quad (18)$$

Il convient de noter que la valeur d' $epfd_{\uparrow}$  cumulative intervenant dans l'équation (18) se rapporte à une largeur de bande de référence de 1 Hz. Pour obtenir cette valeur pour une largeur de bande de référence de  $F$  kHz, il convient d'ajouter  $10 \log(1000F)$  (dB).

## 5 Cas de plusieurs systèmes non OSG du SFS

La méthode ci-dessus est utile pour calculer les brouillages dus à une seule source causés par un système. Elle n'est pas applicable au cas de  $M$  systèmes non OSG du SFS de ce type partageant les mêmes bandes de fréquences car les niveaux maximaux d' $epfd$  du signal brouilleur produit par un système non OSG du SFS et l'espacement angulaire minimal par rapport à l'arc OSG peuvent varier selon le système considéré.

Pour appliquer le principe de la méthode susmentionnée au cas de plusieurs systèmes non OSG du SFS, il convient de procéder par étapes, comme indiqué ci-après:

- Après les étapes D2 et U3, il convient de calculer comme suit les niveaux d' $epfd$  du signal brouilleur cumulatif (valeur d' $epfd_m$  cumulative sur les liaisons montantes ou descendantes) en sommant chacun des niveaux de brouillage causé par une seule source pour les  $M$  systèmes non OSG du SFS:

*Etape D2m:*

$$\text{Valeur d}'epfd_{m\downarrow} \text{ cumulative} = 10 \log \sum_{m=1}^M 10^{\left[ \frac{epfd(m)\downarrow}{10} \right]} \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))} \quad (19)$$

$epfd(m)\downarrow$  est le niveau maximum d' $epfd$  du signal brouilleur rayonné au niveau de la station terrienne OSG par les satellites non OSG du  $m^{\text{ème}}$  système non OSG. On obtient cette valeur en utilisant l'équation (15).

Il convient de noter que le terme «*valeur d}'epfd $_{m\downarrow}$  cumulative*» de l'équation (19) se rapporte à une largeur de bande de référence de 1 Hz. Pour obtenir la valeur de ce terme pour une largeur de bande de référence de  $F$  kHz, il convient d'ajouter  $10 \log(1000F)$  (dB).

*Etape U3m:*

$$\text{Valeur d}'epfd_{m\uparrow} \text{ cumulative} = 10 \log \sum_{m=1}^M 10^{\left[ \frac{epfd(m)\uparrow}{10} \right]} \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))} \quad (20)$$

$epfd(m)\uparrow$  est le niveau maximum d' $epfd$  du signal brouilleur rayonné au niveau de la station spatiale OSG par les stations terriennes non OSG du  $m^{\text{ème}}$  système non OSG. On obtient cette valeur en utilisant l'équation (18).

Il convient de noter que le terme «*valeur d}'epfd $_{m\uparrow}$  cumulative*» de l'équation (20) se rapporte à une largeur de bande de référence de 1 Hz. Pour obtenir la valeur de ce terme pour une largeur de bande de référence de  $F$  kHz, il convient d'ajouter  $10 \log(1000F)$  (dB).

### Annexe 3

## **Exemple d'application de la méthode exposée dans l'Annexe 1 de la présente Recommandation au calcul des niveaux des brouillages, dans le cas le plus défavorable, causés par un système non OSG de type HEO du SFS à des réseaux OSG du SFS dans les bandes de fréquences des 19/29 GHz**

### **1 Système non OSG envisagé**

On se propose de considérer ici un système non OSG de type HEO du SFS utilisant des orbites elliptiques géosynchrones de manière à obtenir des espaces angulaires élevés entre les différents satellites actifs et l'orbite OSG. Ce système, que nous appellerons System-1, vise à fournir des SFS à des stations terriennes de petite taille telles que les terminaux de microstations terriennes (VSAT).

Ce système comprend trois ou quatre satellites dont les trajectoires au sol sont répétitives. On indique sur la Fig. 1 les trajectoires au sol des points subsatellites du System-1, les arcs de service étant représentés en gras. Ce système est conçu de telle sorte que les satellites ne sont actifs (c'est-à-dire qu'ils émettent ou réémettent et reçoivent des signaux de radiocommunication) que s'ils se trouvent sur la portion de l'orbite proche de l'apogée, où leur vitesse est la plus faible. Ces «arcs actifs» de la constellation ne sont observés que lorsque les satellites sont à des latitudes supérieures à 30° N. Il convient de noter qu'il y a parfois deux satellites sur un arc actif donné (l'un en début et l'autre en fin d'arc) afin d'exécuter des activités de gestion et de transfert. De par la conception dudit système, il y a toujours un espacement angulaire d'au moins 30° entre les satellites actifs et l'orbite OSG. Le système System-1 réalise ainsi une combinaison optimale de quatre paramètres: angles d'élévation très élevés, faibles temps de propagation des signaux par rapport à ceux des satellites géostationnaires, transferts limités entre satellites et espacement angulaire élevé par rapport à l'orbite OSG.

### **2 Bandes de fréquences**

Il est proposé d'exploiter le système System-1 dans la bande de fréquences 28,6-29,1 GHz (Terre vers espace), large de 500 MHz et dans la bande de fréquences 18,8-19,3 GHz (espace vers Terre), large de 500 MHz. Chaque satellite de ce système dispose dans ces bandes de canaux de communication transparents (tuyau coudé).

### **3 Paramètres essentiels pour le calcul des brouillages causés à des réseaux OSG du SFS fonctionnant dans les bandes de fréquences des 19/29 GHz**

On a besoin des paramètres suivants pour évaluer les brouillages causés par le type de système non OSG du SFS considéré dans cet exemple à des réseaux OSG du SFS fonctionnant aux mêmes fréquences:

*Brouillages subis par des réseaux OSG du SFS sur la liaison descendante*

- D1: espacement angulaire minimal au niveau d'une station terrienne OSG entre la droite de visibilité directe vers l'un des satellites non OSG actifs d'émission et la droite de visibilité directe vers le satellite OSG associé (voir la définition de  $\theta_{D-min}$  dans l'Annexe 1).
- D2: niveau maximum de la puissance surfacique rayonnée à la surface de la Terre par chaque satellite non OSG de la constellation (voir la définition de  $pdf_{D-non\ OSG-max}$  dans l'Annexe 1).

- D3: nombre maximum de satellites non OSG émettant aux mêmes fréquences vers la même zone de la Terre. L'indication du nombre de ces satellites en fonction du pourcentage de temps est nécessaire (voir la définition de  $N_D$  dans l'Annexe 1).
- D4: gain hors axe supposé de la station terrienne OSG de réception en direction des satellites non OSG actifs (voir la définition de  $G_{OSG-ES-max}$  dans l'Annexe 1). On trouvera des indications à ce sujet dans la Recommandation UIT-R S.465.
- D5: température de bruit supposée du système de réception par ciel clair (y compris le bruit de l'antenne de réception) sur la liaison OSG descendante (voir la définition de  $T_{OSG-ES}$  dans l'Annexe 1). Il n'est pas nécessaire, si l'on se place dans des hypothèses prudentes, de tenir compte des dégradations subies par la liaison globale par suite du brouillage sur la liaison montante.

#### *Brouillages subis par des réseaux OSG du SFS sur la liaison montante*

- U1: espacement angulaire minimal au niveau d'une station terrienne non OSG d'émission entre la droite de visibilité directe vers l'orbite OSG et la droite de visibilité directe vers le satellite non OSG associé (voir la définition de  $\theta_{U-min}$  dans l'Annexe 1).
- U2: valeur maximale de la densité spectrale de p.i.r.e. hors axe rayonnée par la station terrienne non OSG d'émission (voir la définition de  $p.i.r.e.non\ OSG-max$  dans l'Annexe 1).
- U3: nombre maximum de stations terriennes non OSG d'émission exploitées aux mêmes fréquences et situées sur une zone de la Terre susceptible d'être visée par un seul faisceau de réception de satellite OSG (voir la définition de  $N_U$  dans l'Annexe 1).
- U4: gain hors axe supposé de l'antenne de réception du satellite OSG (voir la définition de  $G_{OSG-SS-max}$  dans l'Annexe 1).
- U5: température de bruit supposée du système de réception par ciel clair sur la liaison OSG montante (voir la définition de  $T_{OSG-SS}$  dans l'Annexe 1). Il n'est pas nécessaire, si l'on se place dans des hypothèses prudentes, de tenir compte du bruit sur la liaison descendante.

#### **4 Calcul des brouillages subis par les réseaux OSG sur la liaison descendante**

On a besoin des valeurs des paramètres essentiels suivants pour calculer les brouillages causés par le système non OSG considéré ici (System-1):

- D1: l'espacement angulaire minimal au niveau d'une station terrienne OSG entre la droite de visibilité directe vers l'un des satellites non OSG actifs d'émission et la droite de visibilité directe vers le satellite OSG associé n'est jamais inférieur à 30°.
- D2: le niveau maximum de la puissance surfacique rayonnée à la surface de la Terre par chaque satellite non OSG de la constellation est inférieur ou égal à  $-140\text{ dB}(W(m^2 \cdot 4\text{ kHz}))$ .
- D3: le nombre maximum de satellites non OSG émettant aux mêmes fréquences vers la même zone de la Terre est égal à deux. Cette situation peut se produire durant des laps de temps très courts de transfert entre le satellite non OSG actif d'origine du transfert et le satellite non OSG actif de destination du transfert (il y a en général un transfert d'une durée de 10 s toutes les 8 ou 6 h suivant le nombre de satellites du système à satellites non OSG). Une durée de 10 s correspond à moins de 0,05% du temps.
- D4: le gain hors axe supposé de la station terrienne OSG de réception en direction des satellites non OSG actifs est conforme aux prescriptions de la Recommandation UIT-R S.465.

D5: la valeur retenue pour la température de bruit supposée du système de réception par ciel clair (y compris le bruit de l'antenne de réception) sur la liaison OSG descendante est égale à 500 K et correspond à une hypothèse prudente. On a alors une liaison descendante de qualité relativement élevée et on néglige toute dégradation éventuelle de la liaison globale causée par la liaison montante.

On trouvera dans le Tableau 1 les valeurs, calculées à partir des valeurs susmentionnées des paramètres essentiels, du brouillage dans le cas le plus défavorable causé sur la liaison descendante par le système non OSG à un réseau OSG quelconque fonctionnant aux mêmes fréquences.

TABLEAU 1

**Exemple de calcul des brouillages sur la liaison descendante (à court terme), dans le cas le plus défavorable, causés par le système System-1 à une station terrienne OSG dans la bande de fréquences des 19 GHz**

Paramètre	Unité	Valeur
Puissance surfacique maximale rayonnée par un satellite System-1 dans une largeur de bande de 4 kHz	dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz))	-140
Angle d'évitement de l'orbite OSG	degrés	30
Gain de la station terrienne OSG de réception en direction du satellite System-1 considéré	dBi	-4,9
Fréquence	GHz	19
Surface d'ouverture équivalente de l'antenne de la station terrienne OSG de réception en direction du satellite System-1 considéré	dB(m <sup>2</sup> )	-52,0
Puissance du signal brouilleur reçu par la station terrienne OSG de réception dans une largeur de bande de 4 kHz	dB(W/4 kHz)	-192,0
Densité spectrale de puissance (DSP) du signal brouilleur reçu par la station terrienne OSG de réception	dB(W/Hz)	-228,0
Accroissement du brouillage dû au fait que deux satellites System-1 sont visibles simultanément	dB	3
DSP du signal brouilleur reçu par la station terrienne OSG de réception (cas de deux satellites System-1 visibles simultanément)	dB(W/Hz)	-225,0
Température de bruit du système de la station terrienne OSG de réception (valeur retenue)	K	300
DSP de bruit du système de la station terrienne OSG de réception	dB(W/Hz)	-203,8
<b>Rapport <math>I_0/N_0</math> à l'entrée de la station terrienne OSG de réception (cas le plus défavorable)</b>	<b>dB</b>	<b>-21,2</b>
<b>Dégradation <math>\Delta T/T</math> subie par la station terrienne OSG de réception (cas le plus défavorable)</b>	<b>%</b>	<b>0,76</b>

On commence l'analyse avec la valeur de la puissance surfacique maximale rayonnée sur la liaison descendante par le satellite System-1 (voir le paramètre D2 susmentionné). On suppose ensuite,

pour un angle d'évitement de l'orbite OSG d'au moins  $30^\circ$  (paramètre D1), que le gain hors axe de l'antenne de la station terrienne OSG de réception est égal à  $-4,9$  dBi, en se fondant sur la Recommandation UIT-R S.465 (paramètre D4). On convertit ce gain en une surface d'ouverture équivalente ( $\text{dB}(\text{m}^2)$ ) pour une fréquence de réception appropriée égale à 19 GHz. Un calcul simple utilisant cette surface d'ouverture équivalente donne la puissance du signal brouilleur reçu dans une largeur de bande de 4 kHz depuis un seul satellite System-1.

On se place ensuite dans le cas de deux satellites System-1 visibles simultanément (cas le plus défavorable de brouillage à court terme) et d'une largeur de bande de référence de 1 Hz, puis on compare la puissance de brouillage cumulatif résultante et la puissance de bruit propre au récepteur de la station terrienne OSG (utilisation du paramètre D5). Le rapport densité de puissance de bruit/brouillage,  $I_0/N_0$ , ainsi calculé est égal à  $-21,2$  dB, soit une dégradation équivalente  $\Delta T/T$  de la qualité de fonctionnement de la station terrienne OSG de réception égale à 0,76%.

Il a été dit dans les paragraphes précédents de la présente Annexe que l'analyse ci-dessus conduit à une surestimation des brouillages réels, car les deux satellites brouilleurs supposés ne présentent pas tous un espacement angulaire minimal par rapport à une station terrienne OSG donnée.

## 5 Calcul des brouillages subis par un réseau OSG sur la liaison montante

On a besoin des valeurs des paramètres essentiels suivants pour calculer les brouillages causés par le type de système non OSG envisagé ici (System-1):

- U1: l'espacement angulaire minimal au niveau d'une station terrienne non OSG d'émission entre la droite de visibilité directe vers l'orbite OSG et la droite de visibilité directe vers le satellite non OSG associé n'est jamais inférieur à  $30^\circ$ .
- U2: la valeur maximale de la densité spectrale de p.i.r.e. hors axe rayonnée par la station terrienne non OSG d'émission est calculée à partir de la densité spectrale de puissance maximale en entrée ( $-21$  dB(W/4 kHz) par ciel clair et  $-11$  dB(W/4 kHz) dans le cas d'évanouissements dus à la pluie avec utilisation d'une commande de puissance sur la liaison montante) et du gain maximum hors axe de la station terrienne non OSG d'émission en direction de l'arc OSG. On suppose que la valeur du gain hors axe maximum est conforme à la Recommandation UIT-R S.465.
- U3: il existe une relation directe entre le nombre maximum de stations terriennes non OSG émettant aux mêmes fréquences à partir d'une zone donnée de la Terre susceptibles d'être reçues par un seul faisceau de réception d'un satellite OSG, et le gain de réception maximum supposé d'un satellite OSG (voir le paramètre U4). Ce nombre est généralement égal à un lorsque l'ouverture du faisceau de réception du satellite OSG est inférieure à celle du satellite non OSG (ces ouvertures étant mesurées à la surface de la Terre). La possibilité que plusieurs satellites non OSG émettent aux mêmes fréquences en liaison montante existe uniquement lorsque l'ouverture du faisceau de réception du satellite OSG est supérieure à celle du satellite non OSG. Dans ce cas toutefois, le gain crête du faisceau de réception du satellite OSG est réduit, ce qui diminue la sensibilité sur la liaison montante ainsi que les niveaux des brouillages non OSG causés par une station terrienne d'émission non OSG donnée. Ainsi, le scénario probable de brouillage dans le cas le plus défavorable est celui d'un faisceau étroit OSG de réception de gain élevé, dont l'ouverture (mesurée à la surface de la Terre) est beaucoup plus petite que celle du faisceau de réception du satellite non OSG. Le calcul des brouillages sur la liaison montante ne ferait donc intervenir qu'une seule station terrienne non OSG émettant aux mêmes fréquences (c'est-à-dire qu'on suppose un accès multiple par répartition en fréquence). Cependant, on suppose en fait la présence de deux stations terriennes non OSG pour analyser le brouillage dans le cas le plus défavorable sur la liaison montante dans une situation de transfert entre satellites.

- U4: voir les commentaires sur le paramètre U3 en ce qui concerne le gain supposé de l'antenne de réception du satellite OSG en direction de la station terrienne System-1.
- U5: on se place dans l'hypothèse prudente d'une valeur de 500 K de la température de bruit du système de réception par temps clair sur la liaison OSG montante. Il s'agit là d'un récepteur de satellite présentant une qualité de fonctionnement relativement élevée, pour lequel (hypothèse prudente) on néglige toute dégradation éventuelle causée à la liaison globale par la liaison descendante.

On trouvera dans le Tableau 2 les valeurs calculées à partir des valeurs susmentionnées des paramètres essentiels du brouillage dans le cas le plus défavorable causé sur la liaison montante par le système non OSG à un réseau non OSG quelconque exploité aux mêmes fréquences.

La première colonne correspond aux conditions de ciel clair et la seconde à des conditions de pluie dans lesquelles on utilise la commande de puissance sur la liaison montante pour accroître la puissance d'émission au niveau maximum disponible afin de compenser les affaiblissements dus à la pluie. Le calcul par ciel clair donne en fait l'estimation la plus réaliste de la situation de brouillage sur la liaison montante, car, dans des conditions d'évanouissements dus à la pluie, on peut supposer que le trajet du signal brouilleur subit lui aussi des évanouissements, dans des proportions à peu près égales à celles affectant le trajet du signal utile du système System-1. On pourrait observer des niveaux de brouillage en conditions de pluie uniquement si le trajet en visibilité directe entre la station terrienne d'émission System-1 et le satellite OSG était exempt d'évanouissements dus à la pluie et si le trajet en visibilité directe entre cette station d'émission et le satellite System-1 subissait simultanément un évanouissement total. Une telle occurrence est extrêmement rare et serait de durée extrêmement courte si elle venait à se produire.

TABLEAU 2

**Exemple de calcul des brouillages sur la liaison montante, dans le cas le plus défavorable, causés par une station terrienne d'émission System-1 au récepteur d'un satellite OSG dans la bande de fréquences des 29 GHz**

Paramètre	Valeur (par ciel clair)	Valeur (en conditions de pluie)	Unité
Valeur maximale de la DSP rayonnée par une antenne de station terrienne System-1 dans une largeur de bande de 4 kHz	-21	-11	dB(W/4 kHz)
Angle d'évitement de l'orbite OSG	30	30	degrés
Gain de la station terrienne d'émission System-1 en direction du satellite OSG	-4,9	-4,9	dBi
Densité spectrale de p.i.r.e. de la station terrienne d'émission System-1 en direction du satellite OSG dans une largeur de bande de 4 kHz	-25,9	-15,9	dB(W/4 kHz)
Puissance surfacique rayonnée au niveau du satellite OSG dans une largeur de bande de 4 kHz	-188,4	-178,4	dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz))
Fréquence	29	29	GHz
Gain supposé de l'antenne du satellite OSG de réception en direction de la station terrienne System-1	44	44	dBi



TABLEAU 2 (*fin*)

Paramètre	Valeur (par ciel clair)	Valeur (en conditions de pluie)	Unité
Surface d'ouverture équivalente de l'antenne de réception du satellite OSG en direction de la station terrienne System-1	-6,7	-6,7	dB(m <sup>2</sup> )
Puissance du signal brouilleur reçu par le satellite OSG dans une largeur de bande de 4 kHz	-195,1	-185,1	dB(W/4 kHz)
DSP du signal brouilleur reçu par le satellite OSG (et provenant d'une seule station terrienne System-1)	-231,1	-221,1	dB(W/Hz)
DSP du signal brouilleur reçu par le satellite OSG (et provenant de deux stations terriennes System-1)	-228,1	-218,1	dB(W/Hz)
Température de bruit du système de réception du satellite OSG (valeur retenue)	500	500	K
DSP de bruit du système de réception du satellite OSG	-201,6	-201,6	dB(W/Hz)
<b>Rapport <math>I_0/N_0</math> à l'entrée du satellite OSG de réception (cas le plus défavorable)</b>	<b>-26,5</b>	<b>-16,5</b>	<b>dB</b>
<b>Dégradation <math>\Delta T/T</math> de la réception du satellite OSG (cas le plus défavorable)</b>	<b>0,22</b>	<b>2,2</b>	<b>%</b>

La méthode de calcul présentée dans le Tableau 2 est similaire à celle utilisée précédemment pour la liaison descendante (voir le Tableau 1) et fait intervenir les paramètres U1 à U5 décrits ci-dessus.

Comme on l'a indiqué plus haut, les valeurs de  $\Delta T/T$  calculées dans cette analyse correspondent uniquement à des brouillages de courte durée (environ 10 s toutes les 8 ou 6 h en fonction du nombre de satellites du système à satellites non OSG, c'est-à-dire moins de 0,05% du temps). Les valeurs  $I_0/N_0$  à long terme leur sont inférieures d'au moins 3 dB, puisque la station terrienne non OSG n'émet alors que vers un seul satellite. Cette réduction de 3 dB conduit à une valeur de  $T/T$  de 0,22% par ciel clair et de 2,2% si une commande de puissance est utilisée dans les situations d'évanouissements dus à la pluie.

## Annexe 4

### **Exemple d'application de la méthode exposée dans l'Annexe 2 de la présente Recommandation au calcul des niveaux des brouillages, dans le cas le plus défavorable, causés par un système non OSG de type HEO du SFS à des réseaux OSG du SFS dans les bandes de fréquences des 18/28 GHz**

#### **1 Système non OSG envisagé**

On se propose de considérer ici un système non OSG de type HEO du SFS utilisant des orbites elliptiques géosynchrones de manière à obtenir des espaces angulaires élevés entre les différents satellites actifs et l'orbite OSG. Ce système, que nous appellerons System-2, vise à fournir des services fixes par satellite à des stations terriennes de petite taille telles que les terminaux VSAT.

Ce système comprend trois ou quatre satellites dont les trajectoires au sol sont répétitives. On indique également sur la Fig. 1 les trajectoires au sol des points subsatellites de System-2, les arcs de service étant représentés en gras. Ce système est conçu de telle sorte que les satellites ne sont actifs (c'est-à-dire qu'ils émettent ou réémettent et reçoivent des signaux de radiocommunication) que s'ils se trouvent sur la portion de l'orbite proche de l'apogée, où leur vitesse est la plus faible. Ces «arcs actifs» de la constellation ne sont observés que lorsque les satellites sont à des latitudes supérieures à 30° N. Il convient de noter qu'il y a parfois deux satellites sur un arc actif donné (l'un en début et l'autre en fin d'arc), afin d'exécuter des activités de gestion et de transfert. De par la conception dudit système, il y a toujours un espacement angulaire d'au moins 30° entre les satellites actifs et l'orbite OSG. Le système System-2 réalise ainsi une combinaison optimale de quatre paramètres: angles d'élévation très élevés, faibles temps de propagation des signaux par rapport à ceux des satellites géostationnaires, transferts limités entre satellites et espacement angulaire élevé par rapport à l'orbite OSG.

#### **2 Bandes de fréquences**

Il est proposé d'exploiter le système System-2 dans la bande de fréquences des 28 GHz (Terre vers espace) et dans la bande de fréquences des 18 GHz (espace vers Terre). Chaque satellite de ce système dispose dans ces bandes de canaux de communication transparents (tuyau coudé).

#### **3 Paramètres essentiels pour le calcul des brouillages causés à des réseaux OSG du SFS fonctionnant dans les bandes de fréquences des 18/28 GHz**

On a besoin des paramètres suivants pour évaluer les brouillages causés par le type de système non OSG du SFS considéré dans la présente Annexe à des réseaux OSG du SFS fonctionnant aux mêmes fréquences:

*Brouillages subis par des réseaux OSG sur la liaison descendante*

- D1: espacement angulaire minimal au niveau d'une station terrienne OSG entre la droite de visibilité directe vers l'un des satellites non OSG actifs d'émission et la droite de visibilité directe vers le satellite OSG associé (voir la définition de  $\theta_{D-min}$  dans l'Annexe 2).
- D2: niveau maximum de la puissance surfacique maximale rayonnée à la surface de la Terre par chaque satellite non OSG de la constellation (voir la définition de  $pf d_{D-non\ OSG-max}$  dans l'Annexe 2).

- D3: nombre maximum de satellites non OSG émettant aux mêmes fréquences vers la même zone de la Terre. L'indication du nombre de ces satellites en fonction du pourcentage de temps est nécessaire (voir la définition de  $N_D$  dans l'Annexe 2).
- D4: gain d'antenne hors axe maximum supposé de la station terrienne OSG de réception (voir la définition de  $G_{OSG-ES-max}$  dans l'Annexe 2). On trouvera des indications à ce sujet dans la Recommandation UIT-R S.465.

#### *Brouillages subis par des réseaux OSG sur la liaison montante*

- U1: espacement angulaire minimal au niveau d'une station terrienne non OSG d'émission entre la droite de visibilité directe vers l'orbite OSG et la droite de visibilité directe vers le satellite non OSG associé (voir la définition de  $\theta_{U-min}$  dans l'Annexe 2).
- U2: valeur maximale de la densité spectrale de p.i.r.e. hors axe rayonnée par la station terrienne non OSG d'émission (voir la définition de  $p.i.r.e.non\ OSG-max$  dans l'Annexe 2).
- U3: nombre maximum de stations terriennes non OSG d'émission exploitées aux mêmes fréquences et situées sur une zone de la Terre susceptible d'être visée par un seul faisceau de réception de satellite OSG (voir la définition de  $N_U$  dans l'Annexe 2).
- U4: gain hors axe maximum supposé de l'antenne de réception du satellite OSG (voir la définition de  $G_{OSG-SS-max}$  dans l'Annexe 2).

#### **4 Calcul des brouillages subis par les réseaux OSG sur la liaison descendante**

On a besoin des valeurs des paramètres essentiels suivants pour calculer les brouillages causés par le système non OSG considéré ici (System-2):

- D1: l'espacement angulaire minimal au niveau d'une station terrienne OSG entre la droite de visibilité directe vers l'un des satellites non OSG actifs d'émission et la droite de visibilité directe vers le satellite OSG associé n'est jamais inférieur à 30°.
- D2: le niveau maximum de la puissance surfacique rayonnée à la surface de la Terre par chaque satellite non OSG de la constellation est inférieur ou égal à  $-140\text{ dB}(W(m^2 \cdot 4\text{ kHz}))$ .
- D3: le nombre maximum de satellites non OSG émettant aux mêmes fréquences vers la même zone de la Terre est égal à deux. Cette situation peut se produire durant des laps de temps très courts de transfert entre le satellite non OSG actif d'origine du transfert et le satellite non OSG actif de destination du transfert (il y a en général un transfert d'une durée de 10 s toutes les 8 ou 6 h suivant le nombre de satellites du système à satellites non OSG). Une durée de 10 s correspond à moins de 0,05% du temps.
- D4: le gain hors axe maximum supposé de la station terrienne OSG de réception en direction des satellites non OSG actifs est conforme aux prescriptions de la Recommandation UIT-R S.465.

On trouvera dans le Tableau 3 les valeurs, calculées à partir des valeurs susmentionnées des paramètres essentiels, du brouillage dans le cas le plus défavorable causé sur la liaison descendante par le système non OSG à un réseau OSG quelconque fonctionnant aux mêmes fréquences.

On commence l'analyse avec la valeur de la puissance surfacique maximale rayonnée sur la liaison descendante par le satellite System-2 (voir le paramètre D2 susmentionné). On suppose ensuite, pour un angle d'évitement de l'orbite OSG d'au moins 30° (paramètre D1), que le gain hors axe de l'antenne de la station terrienne OSG de réception est égal à  $-4,9\text{ dBi}$ , en se fondant sur la Recommandation UIT-R S.465 (paramètre D4). Un calcul simple utilisant la valeur maximale du gain d'antenne hors axe donne le niveau d'epfd<sub>↓</sub> du signal brouilleur reçu dans une largeur de bande de 4 kHz depuis un seul satellite System-2. On se place ensuite dans le cas de deux satellites System-2 visibles simultanément (cas le plus défavorable de brouillage à court terme) et d'une

largeur de bande de référence de 40 kHz, ce qui permet d'obtenir le niveau d'epfd<sub>↓</sub> du signal brouilleur cumulatif dans une largeur de bande de 40 kHz.

Il a été dit dans les paragraphes précédents de la présente Annexe que l'analyse ci-dessus conduit à une surestimation des brouillages réels, car les deux satellites brouilleurs supposés ne présentent pas tous un espacement angulaire minimal par rapport à une station terrienne OSG donnée.

TABLEAU 3

**Exemple de calcul des brouillages sur la liaison descendante (à court terme), dans le cas le plus défavorable, causés par le système System-2 à une station terrienne OSG dans la bande de fréquences des 18 GHz**

Paramètre	Unité	Valeur
Puissance surfacique maximale rayonnée par un satellite System-2 dans une largeur de bande de 4 kHz	dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz))	-140
Angle d'évitement de l'orbite OSG	degrés	30
Fréquence	GHz	18
Gain d'antenne maximum de la station terrienne OSG de réception (1 m)	dBi	43,3
Gain de la station terrienne OSG de réception en direction du satellite System-2	dBi	-4,9
Niveau d'epfd <sub>↓</sub> du signal brouilleur rayonné au niveau de la station terrienne OSG de réception dans une largeur de bande de 4 kHz	dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz))	-188,2
Niveau d'epfd <sub>↓</sub> du signal brouilleur rayonné au niveau de la station terrienne OSG de réception dans une largeur de bande de 40 kHz	dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz))	<b>-178,2</b>
Accroissement du brouillage dû au fait que deux satellites System-2 sont visibles simultanément	dB	<b>3</b>
Niveau d'epfd <sub>↓</sub> du signal brouilleur rayonné au niveau de la station terrienne OSG de réception dans une largeur de bande de 40 kHz (cas de deux satellites System-2 visibles simultanément)	dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz))	<b>-175,2</b>

## 5 Calcul des brouillages subis par les réseaux OSG du SFS sur la liaison montante

On a besoin des valeurs des paramètres essentiels suivants pour calculer les brouillages causés par le type de système non OSG envisagé ici (système System-2):

- U1: l'espacement angulaire minimal au niveau d'une station terrienne non OSG d'émission entre la droite de visibilité directe vers l'orbite OSG et la droite de visibilité directe vers le satellite non OSG associé n'est jamais inférieur à 30°.
- U2: la valeur maximale de la densité spectrale de p.i.r.e. hors axe rayonnée par la station terrienne non OSG d'émission est calculée à partir de la DSP maximale en entrée (-21 dB(W/4 kHz) par ciel clair et -11 dB(W/4 kHz) dans le cas d'évanouissements dus à la pluie avec utilisation d'une commande de puissance sur la liaison montante) et du gain maximum hors axe de la station terrienne non OSG d'émission en direction de l'arc OSG. On suppose que la valeur du gain hors-axe maximum est conforme à la Recommandation UIT-R S.465.

- U3: il existe une relation directe entre le nombre maximum de stations terriennes non OSG émettant aux mêmes fréquences à partir d'une zone donnée de la Terre susceptibles d'être reçues par un seul faisceau de réception d'un satellite OSG, et le gain de réception supposé d'un satellite OSG en direction de la station terrienne System-2 (voir le paramètre U4). Ce nombre est généralement égal à un lorsque l'ouverture du faisceau de réception du satellite OSG est inférieure à celle du satellite non OSG (ces ouvertures étant mesurées à la surface de la Terre). La possibilité que plusieurs satellites non OSG émettent aux mêmes fréquences en liaison montante existe uniquement lorsque l'ouverture du faisceau de réception du satellite OSG est supérieure à celle du satellite non OSG. Dans ce cas toutefois, le gain crête du faisceau de réception du satellite OSG est réduit, ce qui diminue la sensibilité sur la liaison montante ainsi que les niveaux des brouillages non OSG causés par une station terrienne d'émission non OSG donnée. Ainsi, le scénario probable de brouillage dans le cas le plus défavorable est celui d'un faisceau étroit OSG de réception de gain élevé, dont l'ouverture (mesurée à la surface de la Terre) est beaucoup plus petite que celle du faisceau de réception du satellite non OSG. Le calcul des brouillages sur la liaison montante ne ferait donc intervenir qu'une seule station terrienne non OSG émettant aux mêmes fréquences (c'est-à-dire qu'on suppose un accès multiple par répartition en fréquence). Cependant, on suppose en fait la présence de deux stations terriennes non OSG pour analyser le brouillage dans le cas le plus défavorable sur la liaison montante dans une situation de transfert entre satellites.
- U4: voir les commentaires sur le paramètre U3 en ce qui concerne le gain supposé de l'antenne de réception du satellite OSG en direction de la station terrienne System-2. La valeur maximale du gain de l'antenne de réception du satellite OSG est également requise. Pour calculer les brouillages sur la liaison montante, si l'on se place dans des hypothèses prudentes, on doit supposer que cette valeur maximale du gain d'antenne correspond au gain en direction de la station terrienne System-2.

On trouvera dans le Tableau 4 les valeurs calculées à partir des valeurs susmentionnées des paramètres essentiels du brouillage dans le cas le plus défavorable causé sur la liaison montante par le système non OSG à un réseau non OSG quelconque exploité aux mêmes fréquences. La première colonne correspond aux conditions de ciel clair et la seconde à des conditions de pluie dans lesquelles on utilise la commande de puissance sur la liaison montante pour accroître la puissance d'émission au niveau maximum disponible afin de compenser les affaiblissements dus à la pluie. Le calcul par ciel clair donne en fait l'estimation la plus réaliste de la situation de brouillage sur la liaison montante, car, dans des conditions d'évanouissements dus à la pluie, on peut supposer que le trajet du signal brouilleur subit lui aussi des évanouissements, dans des proportions à peu près égales à celles affectant le trajet du signal utile du système System-2. On pourrait observer des niveaux de brouillage en conditions de pluie uniquement si le trajet en visibilité directe entre la station terrienne d'émission System-2 et le satellite OSG était exempt d'évanouissements dus à la pluie et si le trajet en visibilité directe entre cette station d'émission et le satellite System-2 subissait simultanément un évanouissement total. Une telle occurrence est extrêmement rare et serait de durée extrêmement courte si elle venait à se produire.

TABLEAU 4

**Exemple de calcul des brouillages sur la liaison montante, dans le cas le plus défavorable, causés par une station terrienne d'émission System-2 au récepteur d'un satellite OSG dans la bande de fréquences des 28 GHz**

Paramètre	Valeur (par ciel clair)	Valeur (en conditions de pluie)	Unité
Valeur maximale de la DSP maximale rayonnée par une antenne de station terrienne System-2 dans une largeur de bande de 4 kHz	-21	-11	dB(W/4 kHz)
Angle d'évitement de l'orbite OSG	30	30	degrés
Gain de la station terrienne d'émission System-2 en direction du satellite OSG	-4,9	-4,9	dBi
Densité spectrale de p.i.r.e. de la station terrienne d'émission System-2 en direction du satellite OSG dans une largeur de bande de 4 kHz	-25,9	-15,9	dB(W/4 kHz)
Puissance surfacique rayonnée au niveau du satellite OSG dans une largeur de bande de 4 kHz	-188,4	-178,4	dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz))
Fréquence	28	28	GHz
Gain supposé du satellite OSG en réception suivant la direction de la station terrienne System-2	44	44	dBi
Gain maximum (supposé) du satellite OSG	44	44	dBi
Niveau d'epfd <sub>↑</sub> du signal brouilleur rayonné au niveau du satellite OSG de réception dans une largeur de bande de 4 kHz	-188,4	-178,4	dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz))
Niveau d'epfd <sub>↑</sub> du signal brouilleur rayonné au niveau du satellite OSG de réception dans une largeur de bande de 40 kHz (par une station terrienne System-2)	<b>-178,4</b>	<b>-168,4</b>	dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz))
Niveau d'epfd <sub>↑</sub> du signal brouilleur rayonné au niveau du satellite OSG de réception dans une largeur de bande de 40 kHz (par deux stations terriennes System-2)	<b>-175,4</b>	<b>-165,4</b>	dB(W/(m <sup>2</sup> · 40 kHz))

La méthode de calcul présentée dans le Tableau 4 est similaire à celle utilisée précédemment pour la liaison descendante (voir le Tableau 3) et fait intervenir les paramètres U1 à U4.

Comme on l'a indiqué plus haut, les niveaux d'epfd<sub>↑</sub> calculés dans cette analyse correspondent uniquement à des brouillages de courte durée (environ 10 s toutes les 8 ou 6 h en fonction du nombre de satellites du système à satellites non OSG, c'est-à-dire moins de 0,05% du temps). Les niveaux d'epfd<sub>↑</sub> à long terme leur sont inférieurs d'au moins 3 dB, puisque la station terrienne non OSG n'émet alors que vers un seul satellite.