

RECOMMANDATION UIT-R S.1560

Méthode de calcul des niveaux des brouillages dans le cas le plus défavorable causés par un type particulier de système non géostationnaire du service fixe par satellite utilisant des orbites fortement elliptiques, à des réseaux à satellite géostationnaire du service fixe exploités dans les bandes des 4/6 GHz

(Question UIT-R 236/4)

(2002)

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 service fixe par satellite (SFS) (y compris les bandes des 4/6 GHz) pour les réseaux à satellite géostationnaire (OSG) et pour les systèmes à satellites non OSG;
- b) que, dans les bandes des 4/6 GHz, les systèmes non OSG ne doivent pas causer de brouillages inacceptables aux réseaux OSG du SFS, conformément aux dispositions du numéro 22.2 du RR;
- c) que les administrations peuvent avoir besoin de calculer les niveaux des brouillages dans le cas le plus défavorable causés par un système non OSG à un réseau OSG quelconque dans les bandes de fréquences des 4/6 GHz;
- d) que les bandes de fréquences des 4/6 GHz du SFS sont très utilisées par les réseaux OSG du SFS existants ou en projet,

notant

- a) que le Bureau des radiocommunications a reçu des informations concernant les systèmes non OSG du SFS utilisant des orbites fortement elliptiques qui sont exploités dans des bandes de fréquences au-dessous de 10 GHz;
- b) que le numéro 22.2 du RR est une disposition opérationnelle à appliquer entre administrations, et qu'il revient à l'administration responsable du système OSG du SFS qui est affectée de déterminer si un système non OSG du SFS cause des brouillages inacceptables à un réseau OSG du SFS;
- c) que les types de systèmes non OSG du SFS à orbites fortement elliptiques du SFS visés au a) du *notant* se caractérisent par l'utilisation d'arcs opérationnels ou «actifs» limités, distants de l'orbite OSG vue depuis la station terrienne considérée,

recommande

- 1 que les niveaux des brouillages causés par un système non OSG du SFS, du type de ceux décrits dans les points susmentionnés du *notant* utilisant des orbites fortement elliptiques, à un réseau OSG du SFS, soient calculés dans le cas le plus défavorable, en considérant que tous les satellites non OSG de ce système émettant aux mêmes fréquences vers la même zone de la Terre fonctionnent à leur niveau maximum de puissance surfacique;
- 2 d'utiliser, dans le cas de systèmes non OSG du SFS exploités sur des orbites fortement elliptiques dans les bandes des 4/6 GHz, la méthode figurant 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 des systèmes non OSG du SFS pour lesquels aucune émission provenant ou à destination d'un satellite non OSG n'a lieu à moins de 40° de l'OSG vu d'un point quelconque à la surface de la Terre;

3 aux administrations d'utiliser ladite méthode pour évaluer si un système non OSG du SFS du type de celui décrit dans les points susmentionnés du *notant* risque de causer des brouillages inacceptables à un réseau OSG du SFS.

NOTE 1 – Dans l'Annexe 2, on donne un exemple d'utilisation de la méthode exposée dans la présente Recommandation dans le cas d'un système non OSG du SFS du type de celui décrit aux points susmentionnés du *notant* et exploité sur des orbites elliptiques inclinées subsynchrones.

NOTE 2 – L'évaluation des brouillages cumulatifs causés par ces systèmes non OSG à des réseaux OSG appelle d'autres études.

NOTE 3 – La méthode repose sur des hypothèses relatives au cas le plus défavorable conduisant à surestimer les niveaux réels de brouillage. On pourrait utiliser des techniques d'analyse plus fines pour évaluer de manière plus détaillée les profils de brouillage.

NOTE 4 – On doit tenir compte de l'inclinaison du satellite OSG lorsqu'on applique la méthode de l'Annexe 1.

ANNEXE 1

Méthode de calcul des niveaux des brouillages dans le cas le plus défavorable causés par un type particulier de système non OSG du SFS utilisant des orbites fortement elliptiques, à des réseaux OSG du service fixe exploités dans les bandes des 4/6 GHz

Il convient d'utiliser la méthode suivante pour calculer les niveaux potentiels des brouillages causés à des réseaux OSG fonctionnant dans les bandes de fréquences des 4/6 GHz par certains types de systèmes non OSG du SFS lorsqu'ils sont exploités aux mêmes fréquences.

En utilisant la méthode de calcul décrite dans la présente Annexe, on risque de surestimer les niveaux réels de brouillage. En particulier, lorsqu'on évalue les brouillages sur la liaison descendante, on suppose un espacement angulaire minimal entre chaque satellite émetteur non OSG du SFS et la droite de visibilité directe entre la station terrienne OSG et le satellite OSG associé. Dans la pratique, si la position d'un des satellites non OSG correspond à cet espacement angulaire minimal, les autres satellites non OSG présenteront des espacements angulaires plus grands (par rapport à ladite droite de visée) et leur contribution au brouillage sera plus faible. La dégradation $\Delta T/T$ globale calculée sera donc inférieure à celle obtenue à l'aide de cette méthode. Pour l'évaluation des brouillages sur les liaisons montantes ou descendantes, le nombre de satellites d'émission ou de stations terriennes utilisés dans cette analyse du niveau maximum de brouillage correspond à celui relevé au moment où se produit le transfert entre satellites non OSG. Les périodes de transfert ne représentent qu'une très faible partie du temps (généralement environ 0,1%), ce qui conduit à une surestimation du niveau de brouillage maximum susceptible de se produire pendant la majorité du temps. On pourrait utiliser des techniques d'analyse plus fines pour évaluer de manière plus détaillée les profils de brouillage.

1 Données relatives au système non OSG

On doit disposer des informations suivantes relatives au système non OSG:

1.1 Emissions espace vers Terre

- θ_{D-min} : Espacement angulaire minimal entre les différents satellites non OSG d'émission actifs et la droite de visibilité directe entre la station terrienne OSG et le satellite OSG associé (degrés).
- $pf_{D-non\ OSG-max}^d$: Niveau maximum de la puissance surfacique rayonnée à la surface de la Terre par chaque satellite non OSG de la constellation (dB(W/(m² · 1 Hz))).
- N_D : Nombre maximum de satellites non OSG émettant aux mêmes fréquences vers la même zone de la Terre, et indication du nombre de ces satellites en fonction du pourcentage de temps.

1.2 Emissions Terre vers espace

- θ_{U-min} : Espacement angulaire minimal entre l'orbite OSG et la droite de visibilité directe entre la station terrienne non OSG d'émission et le satellite non OSG associé (degrés).
- $p.i.r.e.non\ OSG-max$: Densité spectrale de la puissance isotrope rayonnée équivalente (p.i.r.e.) hors axe maximale rayonnée par la station terrienne non OSG d'émission, dans le cas d'un espacement angulaire minimal (θ_{U-min}) (dB(W/Hz)).
- N_U : Nombre maximum de stations terriennes non OSG d'émission fonctionnant aux mêmes fréquences et 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

On doit disposer des informations suivantes relatives au réseau OSG:

2.1 Sensibilité en réception de la station terrienne

- $G_{OSG-ES-max}$: Gain hors axe maximum supposé de la station terrienne OSG de réception dans une direction correspondant à l'espacement angulaire minimal (θ_{D-min}) par rapport au satellite non OSG, lorsque ce dernier se trouve en phase d'émission active (dBi). On trouvera des indications à ce sujet dans la Recommandation UIT-R S.465.
- 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 (K). 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.

2.2 Sensibilité en réception du satellite

- $G_{OSG-SS-max}$: 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 (K). 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.

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 densité spectrale de puissance maximale 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 λ est la longueur d'onde.

Etape D2: Calculer la densité spectrale de puissance de bruit, N_0 , au niveau de la sortie d'antenne de la station terrienne OSG:

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

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 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 par suite des brouillages causés par un système à satellites non OSG:

Etape U1: Calculer le niveau maximum de 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 la 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. Toutefois, étant donné que même l'espacement angulaire minimal est supérieur à 40° , la réduction du gain des lobes latéraux de l'antenne de la station terrienne non OSG ne compensera vraisemblablement pas totalement la diminution des affaiblissements sur le trajet du signal brouilleur. Le brouillage reçu sera donc probablement surestimé.

$$pfd_{U-non\ OSG-max} = p.i.r.e.-non\ OSG-max - 10 \log (4\pi(35\ 786)^2) \quad (4)$$

Etape U2: Calculer la densité spectrale de puissance du signal brouilleur, I_{0-SS} , au niveau de la sortie d'antenne de la station spatiale OSG:

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

où λ est la longueur d'onde.

Etape U3: Calculer la densité spectrale de puissance 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

En appliquant la méthode susmentionnée au scénario dans lequel plusieurs systèmes non OSG du SFS dudit type fonctionnent dans les bandes de fréquences des 4/6 GHz, on surestimerait grandement la dégradation réelle des températures de bruit du système de réception du réseau OSG sur la liaison montante et la liaison descendante, imputable aux brouillages causés par ces divers systèmes à satellites non OSG. Cela provient du fait que l'on suppose un espacement angulaire minimal entre chaque satellite et l'arc OSG. Dans un scénario où il y aurait plusieurs systèmes non OSG de ce type, les satellites seraient répartis sur chacun des arcs actifs et ils seraient très peu nombreux à occuper une position correspondant à cet espacement angulaire minimal. Cette méthode peut donc être utilisée comme un outil d'analyse préliminaire dans un scénario à plusieurs systèmes, mais il serait nécessaire de procéder à une analyse plus détaillée tenant compte des emplacements des satellites de chaque système sur les arcs actifs pour évaluer l'effet des brouillages cumulatifs causés par plusieurs systèmes.

ANNEXE 2

Exemple d'application de la méthode exposée dans la présente Recommandation au calcul des niveaux des brouillages dans le cas le plus défavorable causés par un type particulier de système non OSG du SFS utilisant des orbites fortement elliptiques inclinées subsynchrones à des réseaux OSG du SFS exploités dans les bandes des 4/6 GHz

1 Système non OSG envisagé

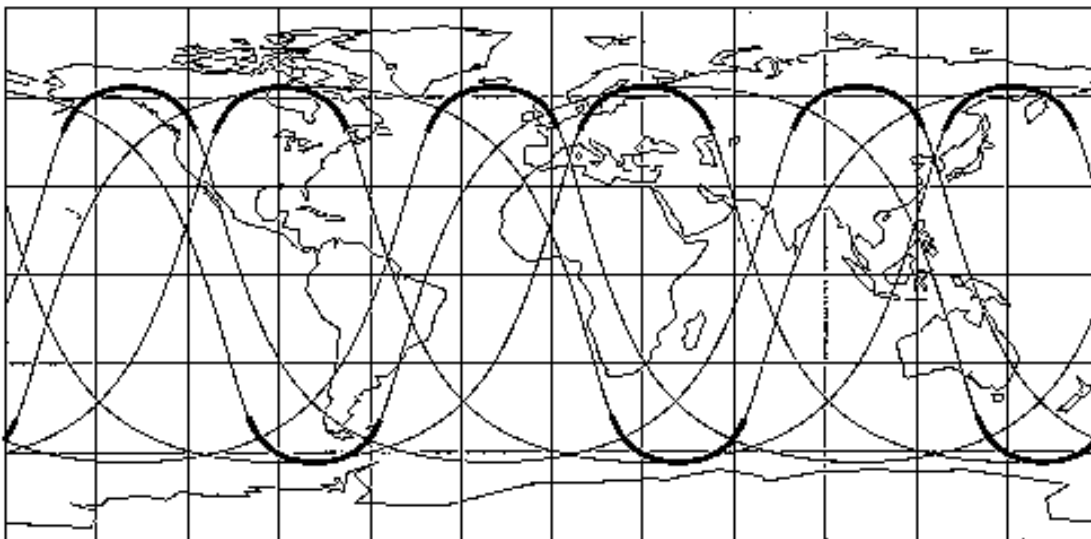
On se propose de considérer ici un type de système non OSG du SFS utilisant des orbites elliptiques inclinées subsynchrones, de manière à obtenir des espacements angulaires élevés entre les différents satellites actifs et l'orbite OSG. Le système USAKU-H2, qui répond à ces caractéristiques, a été proposé à l'UIT. Il s'agit d'un système non OSG du SFS à orbites fortement elliptiques dans lequel l'utilisation d'orbites elliptiques inclinées subsynchrones permet d'obtenir des espacements angulaires élevés entre les différents satellites actifs et l'orbite OSG. Ce système permettrait de fournir des SFS à tous les habitants de la planète en utilisant des liaisons d'utilisateur et des liaisons passerelles. Il convient de noter qu'on envisage pour ce système uniquement des liaisons de type

passerelle dans les bandes des 4/6 GHz, lesquelles font l'objet de la présente Recommandation. Ces liaisons passerelles utiliseraient un nombre relativement petit de stations terriennes de grande taille, ce qui réduit encore tout risque de brouillage pour les réseaux OSG du SFS. Le système proposé est brièvement décrit ci-après mais on peut trouver des informations plus détaillées dans la Recommandation UIT-R S.1328.

Le système USAKU-H2 se compose de trois sous-constellations de cinq satellites dont les trajectoires au sol sont répétitives. Les trajectoires au sol, distinctes, de deux de ces sous-constellations, se trouvent dans l'hémisphère Nord, tandis que celle de la troisième sous-constellation se trouve dans l'hémisphère Sud. 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 (définis pour chaque sous-constellation) correspondent à des latitudes supérieures à 45° N pour les satellites des sous-constellations de l'hémisphère Nord, et à 45° S pour les satellites de la sous-constellation de l'hémisphère Sud. Chaque sous-constellation compte trois arcs actifs qui ne se coupent pas. Pour chacune des sous-constellations/trajectoires au sol, il y aura toujours un satellite présent sur chacun des trois arcs actifs et deux qui ne le sont pas. Il convient de noter qu'il y aura 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. Le système est conçu de telle sorte qu'il y a toujours un espacement d'au moins 40° entre les satellites actifs et l'orbite OSG. Le système USAKU-H2 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 OSG, transferts limités entre satellites et espacement angulaire élevé par rapport à l'orbite OSG. Il assure également une distribution non uniforme de la capacité vers l'hémisphère Nord et l'hémisphère Sud, en fonction de la demande. On indique sur la Fig. 1 les trajectoires au sol des points subsatellites du système USAKU-H2, les arcs de service actifs étant représentés en gras.

FIGURE 1

Trajectoires au sol des points subsatellite du système USAKU-H2



2 Bandes de fréquences

On se propose d'exploiter les liaisons passerelles du système USAKU-H2 dans les bandes de fréquences 5 925-6 725 MHz (Terre vers espace) et 3 700-4 200 MHz (espace vers Terre). Chaque satellite du système USAKU-H2 dispose dans ces bandes de canaux de communication transparents (tuyau coudé) entre ses liaisons passerelles exploitées dans lesdites bandes et ses liaisons d'utilisateur exploitées dans d'autres bandes.

3 Paramètres essentiels pour le calcul des brouillages causés à des réseaux OSG du SFS fonctionnant dans les bandes de fréquences des 4/6 GHz

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

3.1 Brouillages subis par des réseaux OSG sur la liaison descendante

- D1: Espacement angulaire minimal entre un satellite non OSG actif d'émission et la droite de visibilité directe entre la station terrienne OSG et le satellite OSG associé.
- D2: Puissance surfacique maximale rayonnée à la surface de la Terre par chaque satellite non OSG de la constellation.
- D3: Nombre maximum de satellites non OSG émettant aux mêmes fréquences vers la même zone de la Terre, et indication du nombre de ces satellites en fonction du pourcentage de temps.
- D4: Gain hors axe supposé de la station terrienne OSG de réception en direction des satellites non OSG actifs. 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. 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.

3.2 Brouillages subis par des réseaux OSG sur la liaison montante

- U1: Espacement angulaire minimal entre l'orbite OSG et la ligne de visibilité directe entre la station terrienne non OSG d'émission et le satellite non OSG associé.
- U2: Densité spectrale de p.i.r.e. hors axe maximale rayonnée par la station terrienne non OSG d'émission.
- 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.
- U4: Gain maximum supposé de l'antenne de réception du satellite OSG.
- U5: 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 des brouillages 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 (voir le § 3) pour calculer les brouillages causés par le type de système non OSG considéré ici (USAKU-H2):

- D1: Espacement angulaire minimal entre un satellite non OSG actif d'émission et la droite de visibilité directe entre la station terrienne OSG et le satellite OSG associé n'est jamais inférieur à 40° .
- D2: Puissance surfacique maximale rayonnée à la surface de la Terre par chaque satellite non OSG de la constellation est inférieure ou égale à $-165 \text{ dB(W(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$. Ce niveau est compatible avec l'utilisation de stations terriennes passerelles ayant des antennes d'au moins 5 m de diamètre.
- D3: Nombre maximum de satellites non OSG émettant aux mêmes fréquences vers la même zone de la Terre est égal à trois¹. Cette situation peut se produire durant des laps de temps très courts et uniquement dans certaines parties des zones de service non OSG. Il s'agit des zones d'où l'on peut voir simultanément les arcs de service actifs de plusieurs sous-constellations non OSG. La plupart du temps, on ne peut voir simultanément que deux satellites non OSG, mais le nombre peut aller jusqu'à trois aux moments où il y a 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 4,8 h pour chaque sous-constellation – on parle alors de transfert «à court terme»). Dans de nombreuses zones géographiques il y aura presque toujours un seul satellite non OSG actif visible, le nombre pouvant aller jusqu'à deux satellites aux moments où il y a transfert entre le satellite non OSG actif d'origine du transfert et le satellite de destination du transfert. Ainsi, la durée des niveaux des brouillages à court terme calculés ici ne sera généralement que de 20 s (ce qui correspond à deux transferts de sous-constellation) toutes les 4,8 h, ce qui équivaut à environ 0,1% du temps.
- D4: Gain hors axe supposé de la station terrienne OSG de réception en direction d'un satellite non OSG actif est le suivant, conformément à la Recommandation UIT-R S.465:

$$G = 32 - 25 \log(\theta) \quad \text{pour } \theta_{min} \leq \theta < 48^\circ$$

$$G = -10 \text{ dBi} \quad \text{pour } 48^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$$

où $\theta_{min} = 1^\circ$ ou $100\lambda/D$ (degrés), selon la valeur qui est la plus élevée.

- D5: Valeur retenue pour la température de bruit supposée du système de réception par ciel clair (y compris le bruit d'antenne de réception) sur la liaison OSG descendante (80 K) 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.

¹ Cela provient du fait que l'emplacement de la station terrienne passerelle (et donc la couverture de faisceau de la liaison passerelle descendante) appartenant à la sous-constellation exploitée dans l'hémisphère Sud est séparée géographiquement du ou des emplacements de la ou des stations terriennes passerelles et des couvertures de faisceau relatives aux sous-constellations de l'hémisphère Nord.

On trouvera dans le Tableau 1 les valeurs, calculées à partir des valeurs susmentionnées des paramètres essentiels, du brouillage (à court terme) 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

Analyse du brouillage (à court terme) dans le cas le plus défavorable sur la liaison descendante causé par le système USAKU-H2 à une station terrienne OSG dans la bande de fréquences 3 700-4 200 MHz

Paramètre	Valeur
Puissance surfacique maximale rayonnée par un satellite du système USAKU-H2 dans une largeur de bande de 4 kHz ($\text{dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot 4 \text{ kHz}))$)	-165
Angle d'évitement de l'orbite OSG (degrés)	40
Gain de la station terrienne OSG de réception en direction du satellite USAKU-H2 considéré (en utilisant l'expression $32 - 25 \log(\theta)$) (dBi)	-8,0
Fréquence (MHz)	4 000
Ouverture équivalente de l'antenne de la station terrienne OSG de réception en direction du satellite USAKU-H2 considéré (dBm^2)	-41,5
Puissance du signal brouilleur reçu par la station terrienne OSG de réception dans une largeur de bande de 4 kHz ($\text{dB}(\text{W}/4 \text{ kHz})$)	-206,5
Densité spectrale de puissance du signal brouilleur reçu par la station terrienne OSG de réception ($\text{dB}(\text{W}/\text{Hz})$)	-242,6
Accroissement du brouillage dû au fait que trois satellites USAKU-H2 sont visibles simultanément (dB)	4,8
Densité spectrale de puissance du signal brouilleur reçu par la station terrienne OSG de réception dans le cas où trois satellites USAKU-H2 sont visibles simultanément ($\text{dB}(\text{W}/\text{Hz})$)	-237,8
Température de bruit du système de la station terrienne OSG de réception (K)	80
Densité spectrale de puissance de bruit du système de la station terrienne OSG de réception ($\text{dB}(\text{W}/\text{Hz})$)	-209,6
Rapport I_0/N_0 relevé à l'entrée de la station terrienne OSG de réception (brouillage à court terme) (dB)	-28,2
Dégradation $\Delta T/T$ subie par la station terrienne OSG de réception (brouillage à court terme) (%)	0,152

On commence l'analyse avec la valeur de la puissance surfacique maximale rayonnée sur la liaison descendante par le satellite USAKU-H2 (voir le paramètre D2 susmentionné). On calcule ensuite, pour un angle d'évitement de l'orbite OSG d'au moins 40° (paramètre D2), le gain de la station terrienne OSG de réception en se fondant sur l'expression $32 - 25 \log(\theta)$ (paramètre D4), ce qui conduit à une valeur inférieure à -8 dBi. On convertit ce gain en une ouverture équivalente (dBm^2) pour une fréquence de réception appropriée égale à 4 GHz. Un calcul simple utilisant cette ouverture équivalente donne la puissance du signal brouilleur reçu dans une largeur de bande de 4 kHz depuis un seul satellite USAKU-H2. On se place ensuite dans le cas de trois satellites USAKU-H2 visibles simultanément (cas le plus défavorable de brouillage à court terme) et d'une

largeur de bande de référence de 1 Hz, et on compare la puissance de brouillage cumulatif résultante et la puissance de bruit propre au récepteur OSG (utilisation du paramètre D5). Le rapport densité de puissance de bruit/brouillage (I_0/N_0) ainsi calculé est égal à $-28,2$ dB, soit une dégradation équivalente $\Delta T/T$ de la qualité de fonctionnement de la station terrienne OSG réceptrice de $0,152\%$. Les niveaux de brouillage à long terme, dans le cas le plus défavorable, seront inférieurs de deux à trois fois à ce dernier chiffre, ce qui correspond à des valeurs comprises respectivement entre $-31,2$ dB et $-33,0$ dB pour le rapport I_0/N_0 , et respectivement entre $0,101\%$ et $0,051\%$ pour la dégradation $\Delta T/T$.

Il a été dit dans les paragraphes précédents de la présente annexe que l'analyse exposée conduit à une surestimation des brouillages réels, car les trois satellites brouilleurs supposés ne présentent pas tous un espacement angulaire minimal par rapport à une station terrienne OSG donnée. Considérons par exemple le cas d'une station terrienne OSG pour laquelle un satellite non OSG entrant sur l'arc actif au-dessus de l'Amérique du Nord présente l'espacement angulaire minimal de 40° . L'espacement angulaire du satellite non OSG situé à l'extrémité de cet arc actif est alors d'environ 60° . On suppose que le troisième satellite se trouve au centre de l'arc actif adjacent. Son espacement angulaire par rapport à la station terrienne OSG considérée est d'environ 70° . Le gain de l'antenne de réception de cette station en direction du satellite OSG est alors de $-10,0$ dBi, ce qui correspond à une dégradation $\Delta T/T$ de $0,11\%$.

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

On a besoin des valeurs des paramètres essentiels suivants (voir le § 4) pour calculer les brouillages causés par le type de système non OSG envisagé ici (système USAKU-H2):

- U1: Espacement angulaire minimal entre l'orbite OSG et la droite de visibilité directe entre la station terrienne non OSG d'émission et le satellite non OSG associé n'est jamais inférieur à 40° .
- U2: Densité spectrale de p.i.r.e. hors axe maximale rayonnée par la station terrienne non OSG d'émission est calculée à partir de la densité spectrale de puissance maximale en entrée ($-25,0$ dB(W/4 kHz) par ciel clair, et $-21,8$ 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'OSG. On se place dans l'hypothèse prudente où ce gain est donné par l'expression $36 - 25 \log(\theta)$.
- 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 visées 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 système envisagé présente un gain crête de 33 dBi à une altitude d'exploitation de 22 000 km). Une valeur de $1,7^\circ$ pour le faisceau étroit de réception OSG (valeur représentative des futurs systèmes à faisceaux multiples en bande des 6/4 GHz), serait, par exemple, bien inférieure à celle du faisceau de réception 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. Cependant, on supposera la présence de deux stations terriennes non OSG pour analyser le brouillage à court terme sur la liaison montante dans une situation de transfert entre satellites.

- U4: Se reporter aux commentaires sur le paramètre U3 ci-dessus en ce qui concerne le gain maximum supposé de l'antenne de réception du satellite OSG. L'hypothèse prudente envisagée ci-dessus d'un faisceau étroit de réception de $1,7^\circ$ conduirait à une valeur du gain crête de réception du satellite OSG d'environ 40 dBi, valeur que l'on utilisera pour le calcul des brouillages.
- U5: On se place dans l'hypothèse prudente d'une valeur de 600 K de la température de bruit du système de réception sur la liaison OSG montante par temps clair. 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 (à court terme) 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 USAKU-H2. On pourrait observer des niveaux de brouillage en conditions de pluie uniquement si le trajet en visibilité directe entre la station terrienne d'émission du système USAKU-H2 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 USAKU-H2 subissait simultanément un évanouissement total. Une telle occurrence est extrêmement rare et serait de durée extrêmement courte si elle venait à se produire.

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 20 s toutes les 8 h, c'est-à-dire moins de 0,1% 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 $\Delta T/T$ de 0,418% par ciel clair et de 0,873% si une commande de puissance est utilisée dans les situations d'évanouissements dus à la pluie.

TABLEAU 2

**Analyse du brouillage dans le cas le plus défavorable sur la liaison montante causé
par une station terrienne d'émission du système USAKU-H2 à un satellite
de réception dans la bande de fréquences 5925-6725 MHz**

Paramètre	Valeur (par ciel clair)	Valeur (en conditions de pluie)
Densité spectrale de puissance maximale rayonnée par une antenne de station terrienne USAKU-H2 dans une largeur de bande de 4 kHz (dB(W/4 kHz))	-25,0	-21,8
Angle d'évitement de l'orbite OSG (degrés)	40	40
Gain de la station terrienne d'émission USAKU-H2 en direction du satellite OSG (dBi)	-4,1	-4,1
Densité spectrale de p.i.r.e. de la station terrienne d'émission USAKU-H2 en direction du satellite OSG dans une largeur de bande de 4 kHz (dB(W/4 kHz))	-29,1	-25,9
Puissance surfacique rayonnée au niveau du satellite OSG dans une largeur de bande de 4 kHz (dB(W/(m ² · 4 kHz)))	-191,2	-188,0
Fréquence (MHz)	6 325	6 325
Gain supposé de l'antenne du satellite OSG de réception en direction de la station terrienne USAKU-H2 (dBi)	40	40
Ouverture équivalente de l'antenne de réception du satellite OSG en direction de la station terrienne USAKU-H2 (dBm ²)	2,5	2,5
Puissance du signal brouilleur reçu par le satellite OSG dans une largeur de bande de 4 kHz (dB(W/4 kHz))	-188,6	-185,4
Densité spectrale de puissance du signal brouilleur reçu par le satellite OSG (et provenant d'une seule station terrienne USAKU-H2) (dB(W/Hz))	-224,7	-221,5
Densité spectrale de puissance du signal brouilleur reçu par le satellite OSG (et provenant de deux stations terriennes USAKU-H2) (dB(W/Hz))	-221,7	-218,5
Température de bruit du système de réception du satellite OSG (K)	600	600
Densité spectrale de puissance de bruit du système de réception du satellite OSG (dB(W/Hz))	-200,8	-200,8
Rapport I_0/N_0 relevé à l'entrée du satellite OSG de réception (brouillage à court terme) (dB)	-20,8	-17,6
Dégradation $\Delta T/T$ de la réception du satellite OSG (brouillage à court terme) (%)	0,824	1,721