

RECOMMANDATION UIT-R SF.1484*

VALEURS MAXIMALES ADMISSIBLES DE LA PUISSANCE SURFACIQUE PRODUITE À LA SURFACE DE LA TERRE PAR DES SATELLITES NON GÉOSTATIONNAIRES DU SERVICE FIXE PAR SATELLITE FONCTIONNANT DANS LES BANDES 37,5-40,5 GHz ET 40,5-42,5 GHz AFIN DE PROTÉGER LE SERVICE FIXE

(Questions UIT-R 217/9 et UIT-R 250/4)

(2000)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la bande 37,5-40,5 GHz est attribuée au service fixe et au service fixe par satellite (SFS) (espace vers Terre) à titre primaire avec égalité des droits;
- b) que la bande 40,5-42,5 GHz est attribuée au service fixe et au SFS (espace vers Terre) à titre primaire avec égalité des droits dans les Régions 2 et 3 et dans certains pays de la Région 1;
- c) qu'il est nécessaire de s'assurer que les émissions provenant de satellites ne provoquent pas des brouillages inacceptables aux systèmes du service fixe dans les bandes 37,5-40,5 GHz et 40,5-42,5 GHz;
- d) que les systèmes du service fixe peuvent être protégés de manière satisfaisante des émissions cumulées provenant de plusieurs satellites en établissant des limites appropriées à la puissance surfacique dans une largeur de bande de référence produite par des satellites individuels à la surface de la Terre;
- e) que les caractéristiques actuelles et prévues du SFS dans la bande 37,5-40,5 GHz sont différentes de celles dans la bande 40,5-42,5 GHz
- f) que toute limite imposée à la puissance surfacique produite à la surface de la Terre ne doit pas entraîner des restrictions excessives en matière de conception de systèmes du SFS géostationnaire (OSG) et non OSG;
- g) que la Résolution 133 (CMR-97) a demandé à l'UIT-R de déterminer, en temps utile pour la CMR-2000, si les limites de puissance surfacique indiquées à l'Article S21 du RR pour la gamme 37-40 GHz protègent de manière satisfaisante les services terrestres des réseaux du SFS;
- h) que la Résolution 129 (CMR-97) a invité l'UIT-R à entreprendre, de manière urgente, une étude des critères et méthodologies appropriés de partage de fréquences entre SFS et d'autres services avec attribution dans la bande 40,5-42,5 GHz;
- j) que certains systèmes du service fixe employant des marges nettes faibles de protection contre l'évanouissement risquent de ne pas être totalement protégés contre le brouillage de systèmes SFS sans imposer des contraintes excessives à ces systèmes;
- k) que plusieurs systèmes à satellites non OSG ont fait l'objet d'une publication anticipée dans les bandes 37,5-40,5 GHz et 40,5-42,5 GHz, et que le nombre le plus élevé d'engin spatiaux dans l'un quelconque des systèmes à satellites non OSG publié est de 99 engins spatiaux,

recommande

1 que dans les bandes 37,5-40,5 GHz et 40,5-42,5 GHz, la puissance surfacique maximale admissible à la surface de la Terre en provenance de tout satellite non OSG ne devrait pas dépasser dans toute bande de 1 MHz:

1.1 pour la bande 37,5-40,5 GHz:

-120	dB(W/m ²)	pour	$\theta \leq 5^\circ$
-120 + 0,75($\theta - 5$)	dB(W/m ²)	pour	$5^\circ < \theta \leq 25^\circ$
-105	dB(W/m ²)	pour	$25^\circ < \theta \leq 90^\circ$

où θ est l'angle d'arrivée (en degrés au dessus de l'horizontale);

* Cette Recommandation doit être portée à l'attention des Commissions d'études 3 (Groupe de travail (GT) 3M), 4 (GT 4A) et 9 (GT 9B et GT 9A) des radiocommunications.

1.2 pour la bande 40,5-42,5 GHz:

-115	dB(W/m ²)	pour	$\theta \leq 5^\circ$
$-115 + 0,5(\theta - 5)$	dB(W/m ²)	pour	$5^\circ < \theta \leq 25^\circ$
-105	dB(W/m ²)	pour	$25^\circ < \theta \leq 90^\circ$

où θ est l'angle d'arrivée (en degrés au dessus de l'horizontale);

2 que les limites susmentionnées se rapportent à la puissance surfacique qui serait obtenue dans des conditions de propagation supposées en espace libre;

3 que les informations contenues dans l'Annexe 1 devraient être utilisées à titre d'orientation pour l'utilisation de la présente Recommandation pour la bande 37,5-40,5 GHz;

4 que les informations contenues dans l'Annexe 2 devraient être utilisées à titre d'orientation pour l'utilisation de la présente Recommandation pour la bande 40,5-42,5 GHz;

5 que l'on entreprenne un complément d'études avant que les valeurs de *recommande* 1 soient appliquées à tout système du SFS non OSG doté d'un nombre d'engins spatiaux supérieur au nombre indiqué au *considérant* k) ci-dessus.

ANNEXE 1

Probabilité de brouillage de systèmes du SFS non OSG vers les systèmes du service fixe dans la bande 37,5-40,5 GHz

1 Introduction

Cette Annexe présente la probabilité de brouillage de systèmes du SFS non OSG vers des systèmes du service fixe point à point et point à multipoint. Pour cette étude, on utilise les réseaux de satellites LEO V1 (orbite proche de la terre (LEO)), LEO V2 (orbite moyenne (MEO)) et LEO V3 (MEO) en tant que systèmes du SFS non OSG. L'étude porte sur la bande 37,5-40,5 GHz.

2 Caractéristiques techniques des systèmes du SFS non OSG

Les paramètres de systèmes à satellites de LEO V1, LEO V2 et LEO V3 sont indiqués au Tableau 1.

TABLEAU 1

Paramètres orbitaux des systèmes du SFS non OSG

Paramètres	LEO V1	LEO V2	LEO V3
Nombre de satellites	72	15	32
Nombre de plans orbitaux	12	3	4
Nombre de satellites/plan	6	5	8
Altitude (km)	1 350	10 355	10 355
Angle d'inclinaison (degrés)	47	50	50
Période de l'orbite	6 761 s	6 h	6 h

3 Paramètres des systèmes du service fixe et critères de brouillage

3.1 Paramètres des systèmes du service fixe

On a tiré les paramètres des systèmes du service fixe de la Recommandation UIT-R F.758.

- Systèmes du service fixe point à point: on a utilisé les paramètres suivants pour la simulation:
 - gain d'antenne du récepteur du service fixe: 44 dBi et 45 dBi;
 - facteur de bruit du récepteur: 6 dB à 8 dB;
 - angle d'élévation du service fixe: 0° à 60°;
 - diagrammes de rayonnement de l'antenne du service fixe: Recommandations UIT-R F.1245 et UIT-R F.699;
 - angle d'azimut du service fixe: simulations fondées sur l'azimut le plus défavorable.
- Systèmes point à multipoint:
 - gain d'antenne du récepteur du service fixe (concentrateur ou station centrale): 16 dBi;
 - angle d'élévation de l'antenne du service fixe (concentrateur ou station centrale): 0°;
 - température de bruit du récepteur: 1 740 K;
 - station d'utilisateur final: on considère que les caractéristiques des systèmes du service fixe point à point indiquées ci-dessus sont représentatives.

3.2 Critères de brouillage

3.2.1 Critère à long terme

Le critère I/N à long terme du brouillage composite des stations spatiales SFS vers le système du service fixe est:

Critère C1: I/N ne doit pas dépasser -10 dB pendant plus de 20% du temps.

3.2.2 Critères à court terme

On a pris en compte la série de critères I/N à court terme suivante:

Critère C2: I/N ne doit pas dépasser 9 dB pendant plus de 0,01% du temps.

Critère C3: I/N ne doit pas dépasser 13 dB pendant plus de 0,0003% du temps.

Les critères à court terme présentés ci-dessus sont fondés sur une marge d'évanouissement supposée de 14 dB. Pour les systèmes du service fixe présentant une marge d'évanouissement plus élevée, les critères à court terme peuvent être élargis.

Pour les systèmes dont la marge d'évanouissement dépasse 20 dB, un critère à court terme est:

Critère C4: I/N ne doit pas dépasser 20 dB pendant plus de 0,001% du temps est acceptable.

Pour les systèmes du service fixe fonctionnant avec une marge d'évanouissement inférieure à 14 dB, les critères à court terme susmentionnés devraient être resserrés.

Pour les systèmes du service fixe présentant une marge d'évanouissement de 10 dB, le critère de brouillage est:

Critère C5: I/N ne doit pas dépasser 5 dB pendant plus de 0,012% du temps.

4 Brouillage de systèmes du SFS non OSG vers des récepteurs de système du service fixe

4.1 Analyse du brouillage

Le rapport I/N au récepteur du système du service fixe peut être calculé à l'aide de la formule:

$$\frac{I}{N} \text{ (dB)} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{\left(\frac{pfd_i + G_{SF}(\alpha_i)}{10} \right)} \right) - 10 \log \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right) - 60 - L_{atm} - N_0 - L_{pol}$$

où:

- n : nombre total de satellites dans la constellation à satellite SFS non OSG
- pfd_i : puissance surfacique (dB(W/(m² · MHz))) du i ème satellite
- $G_{SF}(\alpha)$: gain de l'antenne de réception du service fixe dans la direction du satellite SFS non OSG
- L_{atm} : affaiblissement atmosphérique
- N_0 : densité du bruit thermique (dB(W/Hz))
- L_{pol} : découplage de polarisation.

Dans ces simulations, on fait l'hypothèse que chaque système du SFS non OSG fonctionne à des niveaux de puissance surfacique de $-115/-105$ dB(W/(m² · MHz)) jusqu'à un angle d'arrivée de 0°. Par ailleurs, on fait également l'hypothèse que le récepteur du service fixe reçoit plusieurs sources de brouillage de tous les satellites visibles à tout instant donné.

Pour les fréquences dépassant 20 GHz, l'affaiblissement dû aux gaz atmosphériques a été traité dans la Recommandation UIT-R SF.1395 qui définit les formules suivantes pour un affaiblissement à 37,5 GHz à des latitudes dépassant 45°:

$$L_{atm} = 14,44 / \left[1 + 0,7365\theta + 0,01542\theta^2 + h(0,2202 + 0,2754\theta) + 0,07416h^2 \right]$$

où:

- h : altitude de l'antenne au-dessus du niveau de la mer (km)
- θ : angle d'élévation au-dessus de l'horizon (degrés).

4.2 Résultats des simulations

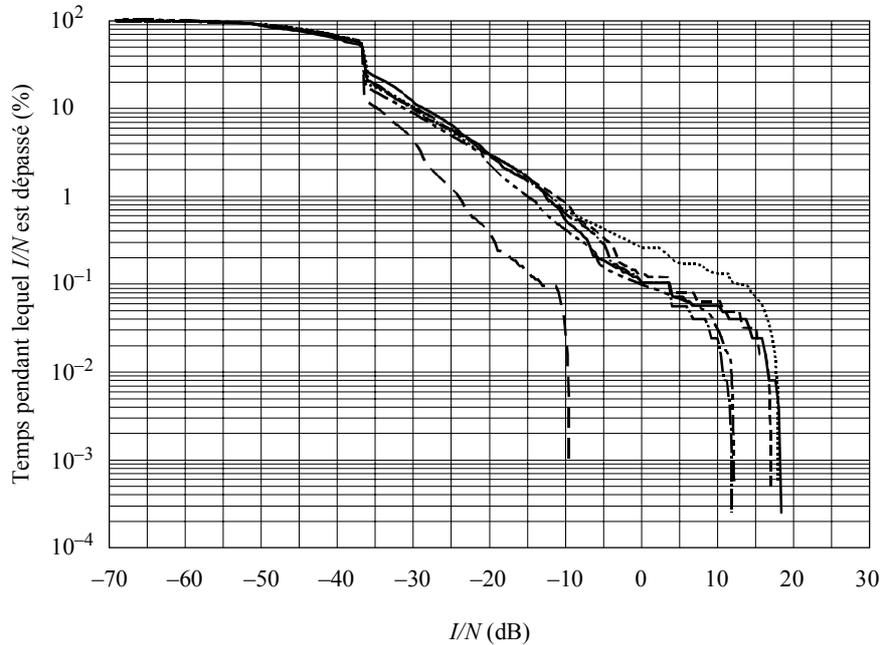
On a réalisé une simulation sur une période de 48 h pour 15 satellites LEO V2 non OSG, 72 satellites LEO V1 non OSG et 32 satellites LEO V3 non OSG avec un pas temporel d'une seconde. Dans ces simulations, le niveau de brouillage calculé, I , est fondé sur l'angle d'azimut le plus défavorable de LEO V2 et LEO V3. On a choisi l'azimut le plus défavorable pour garantir que le satellite non OSG passe par le faisceau principal, provoquant ainsi un brouillage direct du récepteur du service fixe.

4.2.1 Brouillage du système LEO V2 vers un récepteur du service fixe point à point

Dans cette simulation, on applique le masque de puissance surfacique de $-115/-105$ dB(W/(m² · MHz)) à tous les satellites LEO V2 non OSG. On a fait l'hypothèse que le système LEO V2 fonctionnait jusqu'à un angle d'élévation de 0°. On a également fait l'hypothèse que la station terrestre SFS non OSG, de plusieurs antennes ou de plusieurs utilisateurs SFS non OSG, communiquait avec tous les satellites SFS non OSG visibles et utilisait la même fréquence. Les résultats obtenus sont détaillés à la Fig. 1.

FIGURE 1

Pourcentage de temps pendant lequel I/N sur le récepteur du service fixe est dépassé pour l'azimut le plus défavorable
 ($G_{SF} = 44$ dBi, Recommandation UIT-R F.699, facteur de bruit = 8 dB)



Angle d'élévation du service fixe:

- — — — — 5°
- - - - - 15°
- 25°
- - - - - 30°
- · - · - · 35°
- 60°

1484-01

Chaque critère est examiné par rapport aux résultats ci-dessus:

Critère C1 (long terme): la condition est remplie dans tous les cas.

Critère C2 (court terme): la condition est remplie pour des angles d'élévation inférieurs à environ 15°.

Critère C3 (court terme): la condition est remplie pour des angles d'élévation inférieurs à environ 15°.

Critère C4 (court terme): la condition est remplie dans tous les cas.

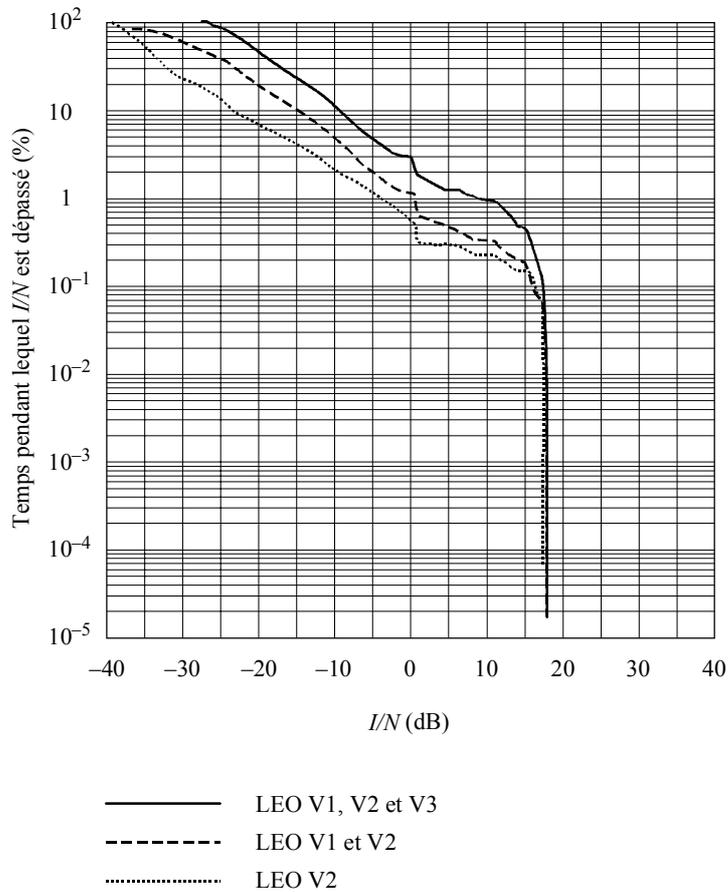
Critère C5 (court terme): la condition est remplie pour des angles d'élévation inférieurs à environ 10°.

4.2.2 Brouillage de trois systèmes du SFS non OSG vers un récepteur du service fixe point à point

Ce cas analyse les contributions des systèmes à satellites non OSG simples et multiples (deux et trois) au rapport I/N , d'un récepteur du service fixe. On prend en compte le diagramme de rayonnement d'antenne du service fixe de la Recommandation UIT-R F.1245 et on considère un angle d'élévation de 30°. Le résultat est illustré à la Fig. 2 qui représente la distribution cumulative du rapport I/N , sur le récepteur du service fixe avec un facteur de bruit de 8 dB.

FIGURE 2

Pourcentage de temps pendant lequel I/N sur le récepteur du service fixe est dépassé pour l'azimut le plus défavorable (les diagrammes d'antenne du service fixe s'appuient sur la Recommandation UIT-R F.1245; facteur de bruit = 8 dB, $G_{SF} = 44$ dBi, angle d'élévation = 30°)



1484-02

Chaque critère est examiné par rapport aux résultats indiqués à la Fig. 2:

Critère C1 (long terme): la condition est remplie.

Critère C2 (court terme): la condition est dépassée d'environ 9 dB.

Critère C3 (court terme): la condition est dépassée d'environ 5 dB.

Critère C4 (court terme): la condition est remplie.

Critère C5 (court terme): la condition est dépassée d'environ 13 dB.

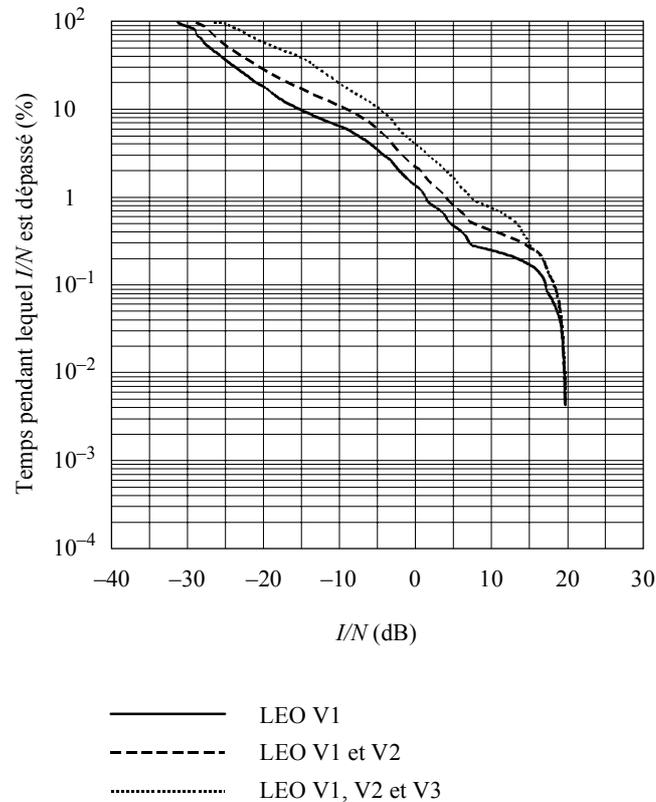
4.2.3 Brouillage de trois systèmes du SFS non OSG vers un récepteur du service fixe point à point

Ce cas analyse les contributions des systèmes à satellites non OSG simples et multiples (deux et trois) au rapport I/N d'un récepteur du service fixe. On prend en compte le diagramme de rayonnement d'antenne du service fixe de la Recommandation UIT-R F.699 et on considère un angle d'élévation de 30° . Le résultat est illustré à la Fig. 3 qui représente la distribution cumulative du rapport I/N , sur le récepteur du service fixe avec un facteur de bruit de 6 dB.

Chaque critère est examiné par rapport aux résultats indiqués à la Fig. 3.

FIGURE 3

Pourcentage de temps pendant lequel I/N sur le récepteur du service fixe est dépassé pour l'azimut le plus défavorable (les diagrammes d'antenne du service fixe s'appuient sur la Recommandation UIT-R F.699; $G_{SF} = 44$ dBi, facteur de bruit = 6 dB; angle d'élévation = 30°)



1484-03

Chaque critère est comparé aux résultats indiqués à la Fig. 3.

Critère C1 (long terme): la condition est remplie.

Critère C2 (court terme): la condition est dépassée d'environ 11 dB.

Critère C3 (court terme): la condition est dépassée d'environ 7 dB.

Critère C4 (court terme): la condition est remplie.

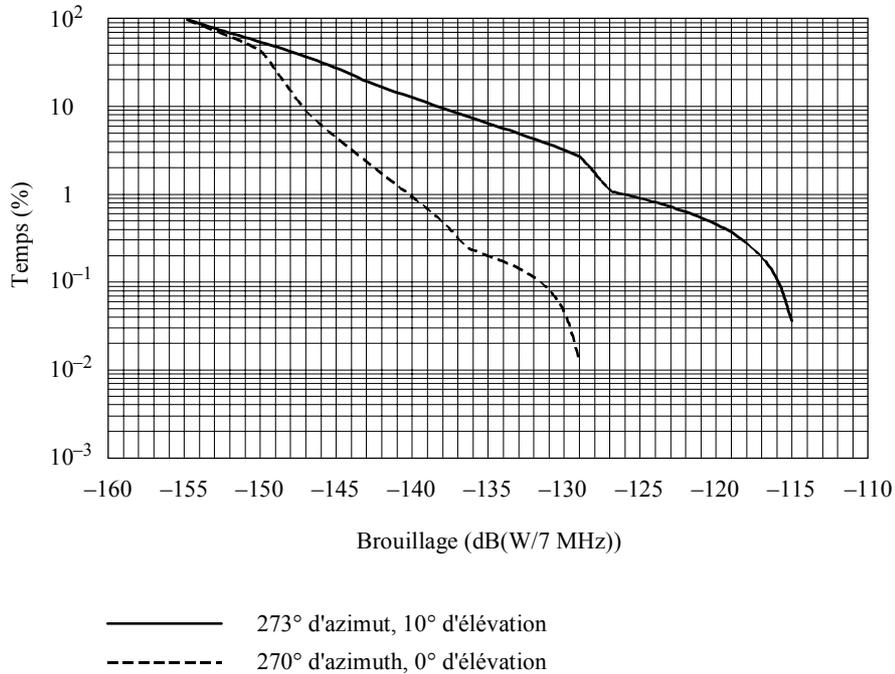
Critère C5 (court terme): la condition est dépassée d'environ 15 dB.

4.2.4 Brouillage d'un système LEO V1 vers un récepteur du service fixe point à point

Dans cet exemple, on considère le brouillage d'un système LEO V1 vers un récepteur du service fixe point à point. Le récepteur du service fixe se situe à une latitude de 52° N et on modélise des angles d'élévation de 0° à 10° avec le diagramme d'antenne donné par la Recommandation UIT-R F.699 et un gain maximal de 45 dBi. Les résultats sont indiqués à la Fig. 4, avec la puissance de brouillage proportionnée sur une largeur de bande de référence de 7 MHz.

Chaque critère est comparé aux résultats indiqués à la Fig. 4.

FIGURE 4
Distribution cumulative du brouillage de LEO V1 vers un récepteur du service fixe point à point
($G_{SF} = 45$ dBi, facteur de bruit = 7 dB, Recommandation UIT-R F.699)



1484-04

Dans le cas d'un angle d'élévation de 0°, toutes les conditions sont remplies. Dans le cas d'un angle d'élévation de 10°, chaque critère est examiné par rapport aux résultats indiqués à la Fig. 4 (pour un système du service fixe avec un facteur de bruit de 7 dB).

	Critère de puissance de brouillage référéncé pour une largeur de bande de 7 MHz	
Critère C1 (long terme)	-138,5 (20% du temps)	La condition est remplie
Critère C2 (court terme)	-119,5 (0,01% du temps)	La condition est dépassée d'environ 5 dB
Critère C3 (court terme)	-115,5 (0,0003% du temps)	La condition est remplie
Critère C4 (court terme)	-108,5 (0,001% du temps)	La condition est remplie
Critère C5 (court terme)	-123,5 (0,012% du temps)	La condition est dépassée d'environ 8 dB

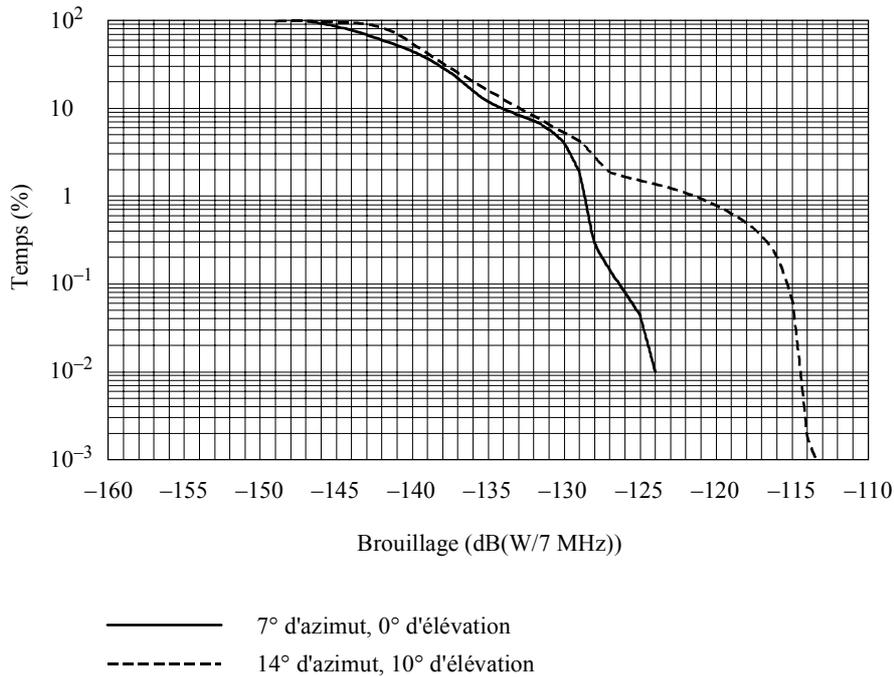
Les critères C2 et C5 sont dépassés de 5 dB et 8 dB respectivement. L'avantage de la polarisation n'a cependant pas été pris en compte dans cette simulation. En soustrayant 3 dB d'avantage de la polarisation et en ajustant les résultats pour un gain d'antenne de 44 dBi, la condition est dépassée d'environ 1 dB et 4 dB respectivement.

4.2.5 Brouillage d'une constellation à satellites non OSG de 288 satellites

Pour analyser l'effet de systèmes SFS non OSG avec de larges constellations, on a procédé à une simulation supplémentaire considérant le brouillage d'une constellation de 288 satellites. On a considéré des angles d'élévation du récepteur de liaison du service fixe point à point de 0° et 10°. On a utilisé en outre le diagramme de rayonnement d'antenne de l'antenne du service fixe donné par la Recommandation UIT-R F.699. Les résultats sont illustrés à la Fig. 5.

FIGURE 5

Brouillage d'une constellation à satellites non OSG de 288 satellites vers un récepteur du service fixe ($G_{SF} = 45$ dBi, Recommandation UIT-R F.699, facteur de bruit = 7 dB)



1484-05

Dans le cas de l'angle d'élévation de 10°, chaque critère est examiné par rapport aux résultats représentés à la Fig. 5 (pour un système du service fixe avec un facteur de bruit de 7 dB).

	Critère de puissance de brouillage référéncé pour une largeur de bande de 7 MHz	
Critère C1 (long terme)	-138,5 (20% du temps)	Condition dépassée d'environ 2 dB
Critère C2 (court terme)	-119,5 (0,01% du temps)	Condition dépassée d'environ 5 dB
Critère C3 (court terme)	-115,5 (0,0003% du temps)	Condition remplie
Critère C4 (court terme)	-108,5 (0,001% du temps)	Condition remplie
Critère C5 (court terme)	-123,5 (0,012% du temps)	Condition dépassée d'environ 8 dB

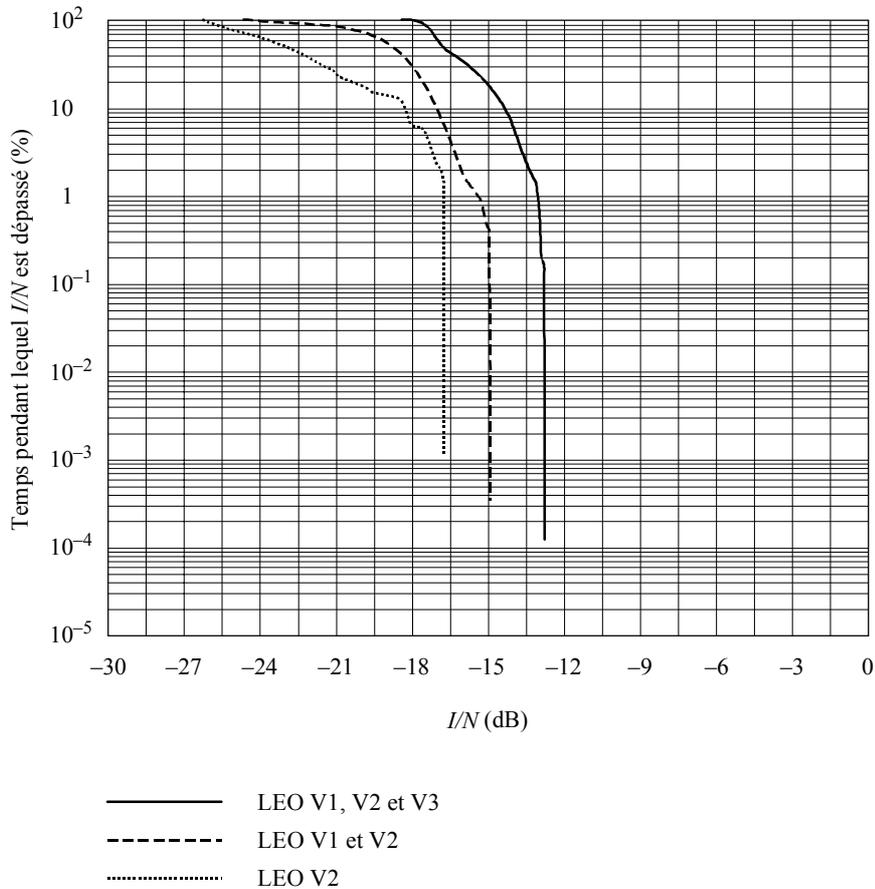
4.2.6 Brouillage potentiel de trois systèmes du SFS non OSG vers des récepteurs du service fixe point à multipoint

La Fig. 6 représente la distribution cumulative du rapport I/N vers un récepteur de stations centrales du service fixe du fait d'un système du SFS non OSG individuel, de deux systèmes du SFS non OSG et de trois systèmes du SFS non OSG. Dans le cas du brouillage le plus important, la valeur du rapport I/N au récepteur du service fixe est inférieure à -13 dB. Si l'on utilise le facteur de bruit du récepteur du service fixe de 6 dB, le rapport I/N du brouillage le plus important reste inférieur à -12 dB, valeur bien inférieure au critère de brouillage du service fixe provisoire.

En règle générale, l'angle d'élévation de récepteurs de station centrale du service fixe point à multipoint est inférieur à 0° (inclinaison vers le bas). Par conséquent, les niveaux de brouillage réels du récepteur sont nettement inférieurs à ceux représentés à la Fig. 6. A la Fig. 6, toutes les conditions sont remplies.

FIGURE 6

Pourcentage du temps pendant lequel I/N au récepteur de station centrale du service fixe, du fait de 1, 2 et 3 systèmes SFS non OSG est dépassé ($G_{SF} = 45$ dBi, Recommandation UIT-R F.1245)



1484-06

La vulnérabilité au brouillage de stations d'abonné point à multipoint est dans cette simulation supposée être la même que celles de stations point à point dans la mesure où les caractéristiques des équipements sont similaires. Dès lors, la simulation présentée au § 4.2.1 s'applique également aux récepteurs d'abonné point à multipoint.

5 Conclusions

Les limites actuelles de puissance surfacique, ($-115/-105$ dB(W/(m² · MHz))), lorsqu'elles sont appliquées à des systèmes du SFS non OSG, sont satisfaisantes pour protéger les systèmes du service fixe fonctionnant dans la bande de fréquences 37,5-40,5 GHz avec une marge de protection contre les évanouissements supérieure à 20 dB obtenue avec une antenne de gain élevé (44 dBi).

Le gain d'antenne étant faible, les limites actuelles de puissance surfacique sont suffisantes pour protéger des stations centrales point à multipoint, même avec de faibles marges de protection contre les évanouissements.

Pour les systèmes point à point du service fixe avec une marge de protection contre les évanouissements de 14 dB et des antennes à gain élevé, les limites actuelles de puissance surfacique ne protègent le service fixe que s'il fonctionne avec un angle d'élévation inférieur à 15°.

Pour les systèmes point à point du service fixe avec une marge de protection contre les évanouissements de 10 dB et une antenne à gain élevé, les limites actuelles de puissance surfacique ne protègent le récepteur que s'il fonctionne avec des angles d'élévation réduits (inférieurs à 10°). Un resserrement de 5 dB (à $-120/-105$ dB(W/(m² · MHz))) des limites de puissance surfacique pour un angle d'arrivée faible protégerait la plupart des liaisons du service fixe avec une marge de protection contre les évanouissements de 10 dB et des angles d'élévation élevés ($\geq 10^\circ$), mais imposerait des contraintes excessives aux systèmes SFS non OSG.

Les niveaux maximaux de puissance surfacique suivants présenteraient un équilibre satisfaisant entre la nécessité de protéger les systèmes du service fixe sans imposer des contraintes excessives aux systèmes SFS non OSG (voir la Note 1):

-120	dB(W/(m ² · MHz))	pour	$\theta \leq 5^\circ$
-120 + 0,75($\theta - 5$)	dB(W/(m ² · MHz))	pour	$5^\circ < \theta \leq 25^\circ$
-105	dB(W/(m ² · MHz))	pour	$25^\circ < \theta \leq 90^\circ$

Toutefois, pour les systèmes du SFS non OSG avec des constellations de satellites importantes (c'est-à-dire de plus de 80 satellites), des études préliminaires ont montré que les systèmes du service fixe auront peut-être besoin d'une protection accrue.

NOTE 1 – Certains systèmes du service fixe présentant des marges nettes de protection contre les évanouissements étroits et fonctionnant sous des angles d'élévation de plus de 10° ne bénéficient peut-être pas d'une parfaite protection contre les brouillages causés par les systèmes du SFS sans imposer de contraintes excessives à ces systèmes.

ANNEXE 2

Probabilité de brouillage de systèmes du SFS non OSG vers des systèmes du service fixe dans la bande 40,5-42,5 GHz

1 Introduction

La présente Annexe présente la probabilité de brouillage de systèmes SFS non OSG vers des systèmes du service fixe dans la bande 40,5-42,5 GHz.

2 Caractéristiques techniques des systèmes du SFS non OSG

Les paramètres système de LEO V2 et LEO V4 sont indiqués au Tableau 2.

TABLEAU 2

Paramètres orbitaux non OSG

Paramètres	LEO V2	LEO V4
Nombre de satellites	15	99
Nombre de plans orbitaux	3	11
Nombre de satellites/plan	5	9
Altitude (km)	10 355	1 600
Angle d'inclinaison (degrés)	50	55
Période de l'orbite	6 h	Non disponible

On a, par ailleurs, mené des études afin d'examiner le brouillage résultant de systèmes non OSG avec une constellation importante. On a ainsi réalisé des simulations utilisant une constellation de 288 satellites.

3 Paramètres des systèmes du service fixe et critères de brouillage

3.1 Paramètres du service fixe

On a utilisé les caractéristiques de système du service fixe suivantes dans les analyses:

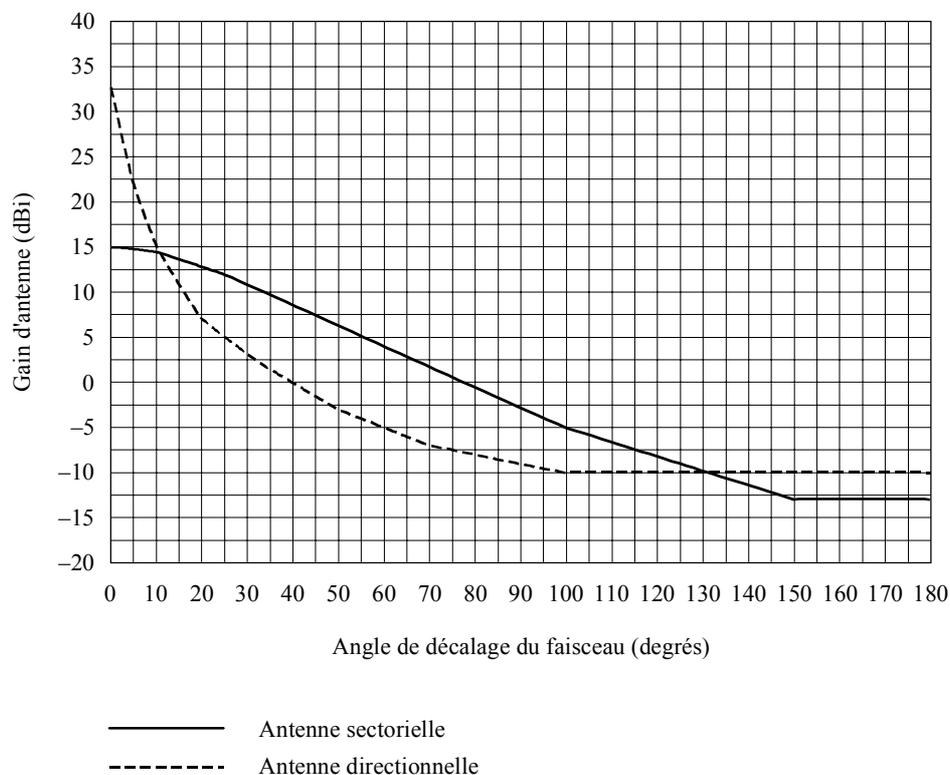
- Systèmes du service fixe avec antennes directives:
 - gain de l'antenne directive du service fixe 33 dBi;

- facteur de bruit du récepteur: 7 dB et 8 dB;
- angle d'élévation du service fixe : 0° à 60°;
- angle d'azimut du service fixe : simulations fondées sur l'azimut le plus défavorable.
- Systèmes du service fixe avec antennes sectorielles:
 - gain d'antenne du récepteur du service fixe: 15 dBi;
 - 3 dB d'ouverture de faisceau: 60° en plan d'azimut, 18° en plan d'élévation;
 - angle d'élévation de l'antenne du service fixe : 0° - 20°;
 - température de bruit du récepteur: 1 740 K.

Les diagrammes de rayonnement de l'antenne sont illustrés à la Fig. 7.

FIGURE 7

Enveloppes de diagramme de rayonnement d'une antenne du service fixe



1484-07

La marge d'évanouissement de liaison varie de 10 à 30 dB. Pour les liaisons réseau à abonné, on peut faire l'hypothèse d'une marge de 10 à 30 dB. Sur le trajet de retour de l'utilisateur final vers la station centrale, en revanche, on peut utiliser la commande automatique de la puissance de l'émetteur (CAPE).

3.2 Critères de brouillage

3.2.1 Critère à long terme

Le critère I/N à long terme du brouillage composite des stations spatiales SFS vers le système du service fixe est:

Critère C1: ne doit pas dépasser -10 dB pendant plus de 20% du temps.

3.2.2 Critères à court terme

On a pris en compte la série de critères I/N composite à court terme suivante:

Critère C2: I/N ne doit pas dépasser 9 dB pendant plus de 0,01% du temps.

Critère C3: I/N ne doit pas dépasser 13 dB pendant plus de 0,0003% du temps.

Les critères à court terme présentés ci-dessus sont fondés sur une marge d'évanouissement supposée de 14 dB. Pour les systèmes du service fixe présentant une marge d'évanouissement plus élevée, les critères à court terme peuvent être élargis.

Pour les systèmes du service fixe dont la marge d'évanouissement dépasse 20 dB, un critère à court terme de:

Critère C4: I/N ne doit pas dépasser 20 dB pendant plus de 0,001% du temps est acceptable.

Pour les systèmes du service fixe fonctionnant avec une marge d'évanouissement inférieure à 14 dB, les critères à court terme susmentionnés devraient être resserrés.

Pour les systèmes du service fixe présentant une marge d'évanouissement de 10 dB, la limite de brouillage de:

Critère C5: I/N ne doit pas dépasser 5 dB pendant plus de 0,012% du temps.

Pour un brouillage à court terme vers des antennes sectorielles du service fixe, on fait l'hypothèse que les évanouissements des signaux utile et brouilleur peuvent ne pas être corrélés et que la CAPE peut être appliquée au signal utile. On peut dès lors faire l'hypothèse d'une marge d'évanouissement nulle, et la limite de brouillage à court terme est par conséquent la même que celle à long terme c'est-à-dire:

Critère C6: I/N ne doit pas dépasser -10 dB pendant plus de 0,06% du temps.

4 Brouillage de systèmes du SFS non OSG vers des récepteurs du service fixe

4.1 Analyse du brouillage

Le rapport I/N au récepteur du service fixe, peut être calculé à l'aide de la formule:

$$\frac{I}{N} \text{ (dB)} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{\left(\frac{pfd_i + G_{SF}(\alpha_i)}{10} \right)} \right) - 10 \log \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right) - 60 - L_{atm} - N_0 - L_{pol}$$

où:

n : nombre total de satellites dans la constellation de satellites non OSG du SFS

pfd_i : puissance surfacique (dB(W/(m² · MHz))) du i ème satellite

$G_{SF}(\alpha)$: gain de l'antenne de réception du service fixe dans la direction du satellite SFS non OSG

L_{atm} : affaiblissement atmosphérique

N_0 : densité du bruit thermique (dB(W/Hz))

L_{pol} : découplage de polarisation.

Dans ces simulations, on fait l'hypothèse que chaque système du SFS non OSG fonctionne à des niveaux de puissance surfacique de -115/-105 dB(W/(m² · MHz)) jusqu'à un angle d'arrivée de 0°. Par ailleurs, on fait également l'hypothèse que le récepteur du service fixe reçoit plusieurs sources de brouillage de tous les satellites visibles à tout instant donné.

Pour les fréquences dépassant 20 GHz, l'affaiblissement dû aux gaz atmosphériques devient de plus en plus significatif. L'affaiblissement dû aux gaz atmosphériques a été traité dans la Recommandation UIT-R SF.1395 qui définit les formules suivantes pour un affaiblissement à 40,5 GHz à des latitudes dépassant 45°:

$$A = 18,92 / \left[1 + 0,6577\theta + 0,04678\theta^2 - 0,001484\theta^3 + 0,1139 \times 10^{-4} \theta^4 \right. \\ \left. + h(0,22 + 0,2811\theta) + 0,06507h^2 \right]$$

où:

h : altitude de l'antenne au-dessus du niveau de la mer (km)

θ : angle d'élévation au-dessus de l'horizon (degrés).

Les systèmes du service fixe peuvent utiliser une polarisation linéaire ou circulaire et on fait l'hypothèse que les systèmes SFS utilisent uniquement une polarisation circulaire. Dès lors, si l'on fait l'hypothèse d'une polarisation linéaire pour le service fixe, l'isolation est de 3 dB. Si, au contraire, on fait l'hypothèse d'une polarisation circulaire pour le service fixe, l'isolation varie de 0 dB à 30 dB. On ne peut faire l'hypothèse d'une isolation de polarisation que pour le couplage du faisceau principal.

4.2 Résultats des simulations

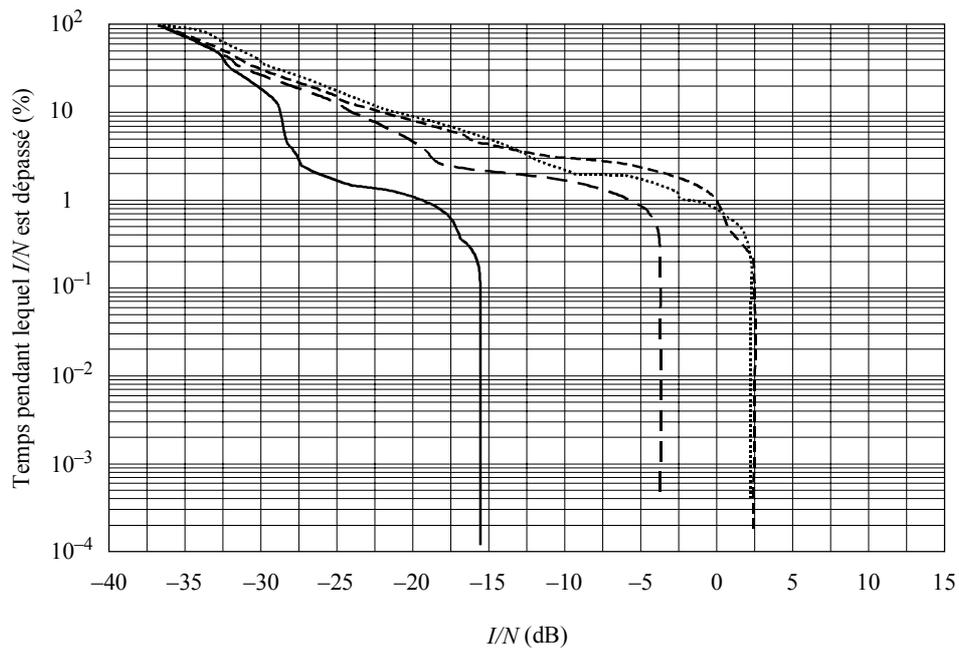
On a réalisé des simulations pour les systèmes LEO V2 et LEO V4. On a choisi l'azimut le plus défavorable pour garantir que le satellite non OSG passe par le faisceau principal, provoquant ainsi un brouillage direct au récepteur du service fixe.

4.2.1 Brouillage du système LEO V2 vers un récepteur du service fixe avec un gain d'antenne de 33 dBi

Dans cette simulation, on applique le masque de puissance surfacique de $-115/-105$ dB(W/(m² · MHz)) tous les satellites LEO V2 non OSG. On a fait l'hypothèse que le système LEO V2 fonctionnait jusqu'à un angle d'élévation de 0°. On a également fait l'hypothèse que la station terrestre du SFS non OSG, de plusieurs antennes ou de plusieurs utilisateurs SFS non OSG, communiquait avec tous les satellites du SFS non OSG visibles et utilisait la même fréquence. En cas d'alignement axe de visée sur axe de visée, on fait l'hypothèse d'une polarisation de 3 dB. Les résultats obtenus sont détaillés à la Fig. 8.

FIGURE 8

Pourcentage de temps pendant lequel I/N sur le récepteur du service fixe est dépassé pour l'azimut le plus défavorable (isolation de polarisation = 3 dB)



Angle d'élévation:

- 0°
- - - 10°
- - - - 20°
- 60°

1484-08

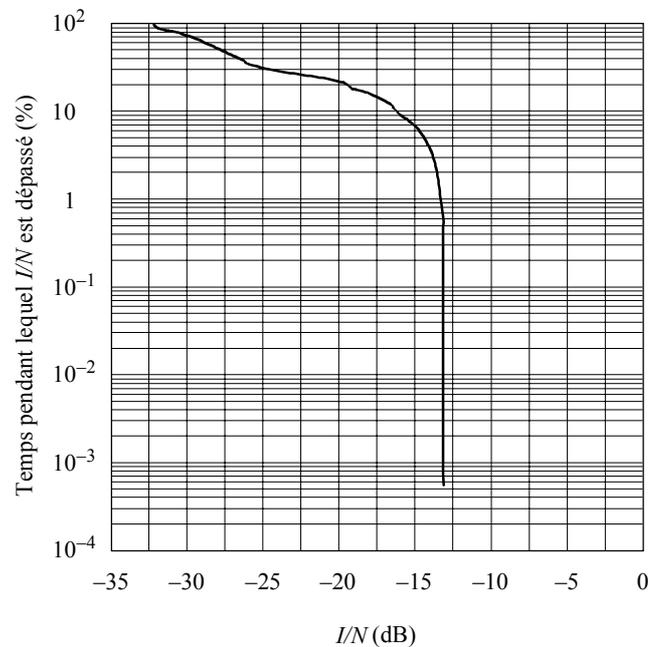
Dans ce scénario, toutes les conditions pertinentes sont remplies.

4.2.2 Brouillage de LEO V2 vers un récepteur du service fixe avec antenne sectorielle

La Fig. 9 représente la distribution cumulative du brouillage de la constellation LEO V2 vers l'antenne du récepteur du service fixe . On fait l'hypothèse d'un angle d'élévation d'antenne de 20° avec un facteur de bruit de 10 dB.

FIGURE 9

Pourcentage de temps pendant lequel I/N sur le récepteur du service fixe est dépassé pour l'azimut le plus défavorable (gain d'antenne = 15 dB, facteur de bruit = 10 dB, isolation de polarisation = 3 dB, angle d'élévation = 20°)



1484-09

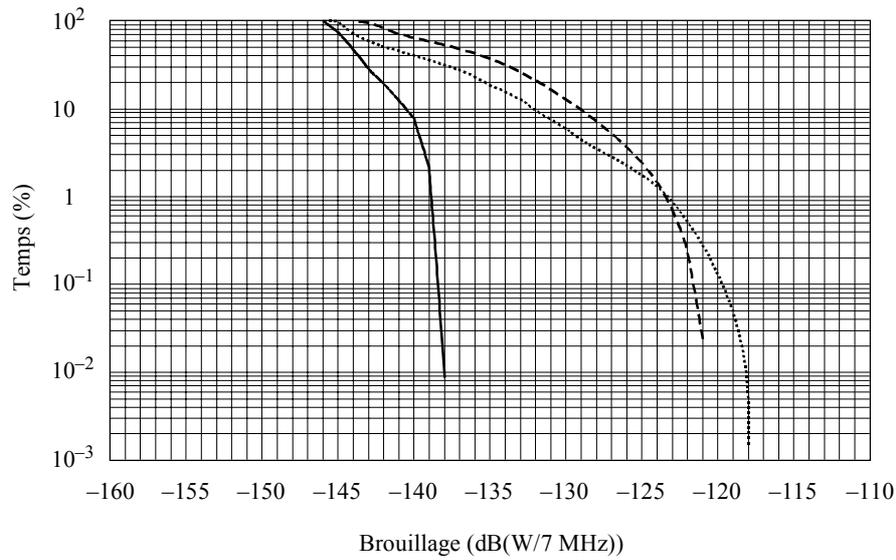
Dans cet exemple, toutes les conditions pertinentes sont remplies.

4.2.3 Brouillage de LEO V4 vers un récepteur du service fixe avec antenne directionnelle

La Fig. 10 représente la distribution cumulative du brouillage du système LEO V4 vers un récepteur du service fixe pour des angles d'élévation de 0° , 20° et 60° .

FIGURE 10

Brouillage d'un système LEO V4 vers un récepteur du service fixe directionnel
(isolation de polarisation = 0 dB)



Angle d'élévation:

- 0°
- - - 20°
- 60°

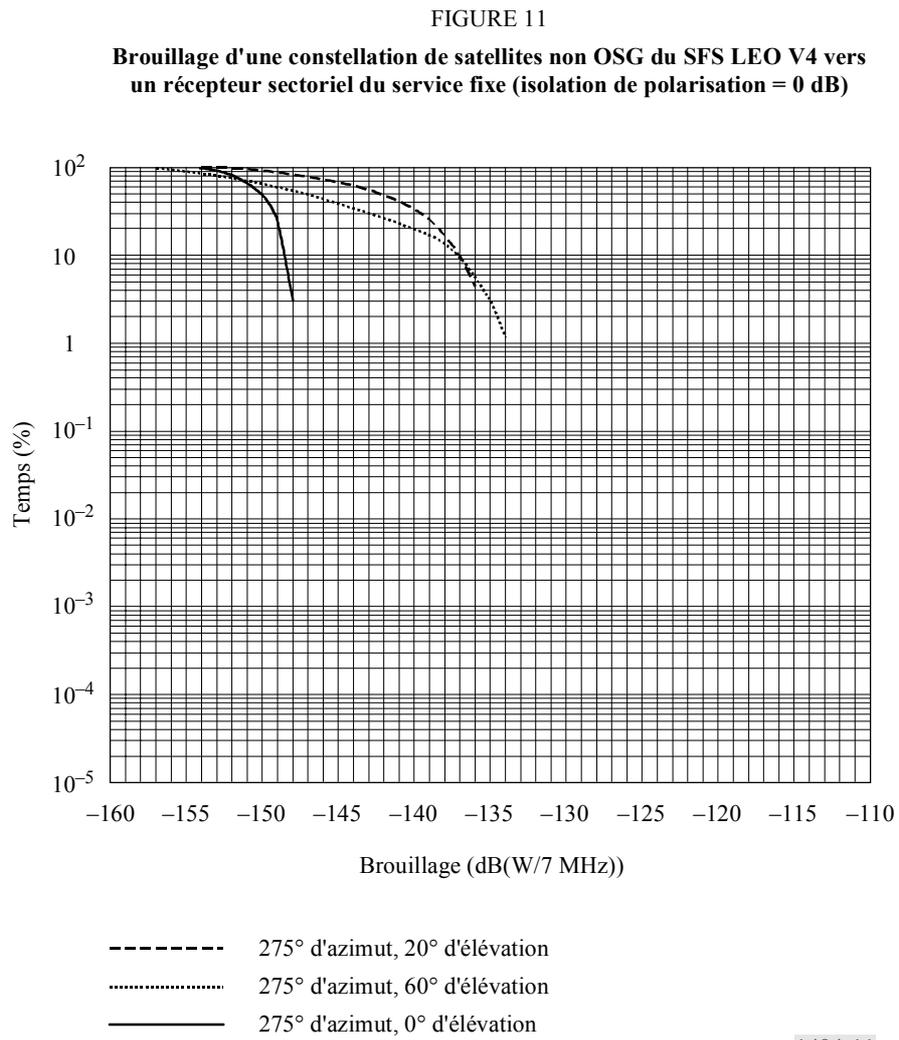
1484-10

Chaque condition est analysée par rapport aux résultats indiqués à la Fig. 10 pour un récepteur avec un facteur de bruit supposé de 8 dB.

	Critère de puissance de brouillage référencé pour une largeur de bande de 7 MHz	Angle d'élévation de 0°	Angle d'élévation de 20°	Angle d'élévation de 60°
Critère C1 (long terme)	-137,5 (20% du temps)	La condition est remplie	Condition dépassée d'environ 5 dB	Condition dépassée d'environ 2 dB
Critère C2 (court terme)	-118,5 (0,01% du temps)	La condition est remplie	La condition est remplie	La condition est remplie
Critère C3 (court terme)	-114,5 (0,0003% du temps)	La condition est remplie	La condition est remplie	La condition est remplie
Critère C4 (court terme)	-107,5 (0,001% du temps)	La condition est remplie	La condition est remplie	La condition est remplie
Critère C5 (court terme)	-122,5 (0,012% du temps)	La condition est remplie	Condition dépassée d'environ 1 dB	Condition dépassée d'environ 2 dB

4.2.4 Brouillage d'une constellation de satellites non OSG du SFS LEO V4 vers un récepteur sectoriel du service fixe

La Fig. 11 représente la distribution cumulative du brouillage d'une constellation de satellites LEO V4 vers un récepteur du service fixe muni d'une antenne sectorielle.



Chaque condition est analysée par rapport aux résultats indiqués à la Fig. 11 pour un récepteur avec un facteur de bruit supposé de 8 dB.

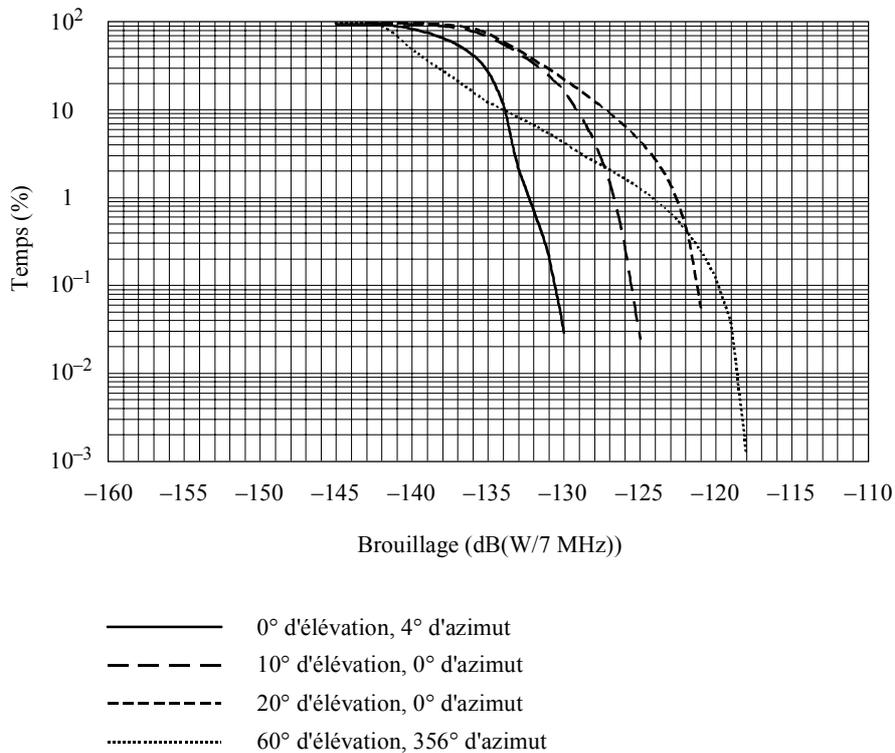
	Critère de puissance de brouillage référencé pour une largeur de bande de 7 MHz	Angle d'élévation de 0°	Angle d'élévation de 20°	Angle d'élévation de 60°
Critère C1 (long terme)	-137,5 (20% du temps)	La condition est remplie	La condition est remplie	La condition est remplie
Critère C2 (court terme)	-118,5 (0,01% du temps)	La condition est remplie	La condition est remplie	La condition est remplie
Critère C3 (court terme)	-114,5 (0,0003% du temps)	La condition est remplie	La condition est remplie	La condition est remplie
Critère C4 (court terme)	-107,5 (0,001% du temps)	La condition est remplie	La condition est remplie	La condition est remplie
Critère C5 (court terme)	-122,5 (0,012% du temps)	La condition est remplie	La condition est remplie	La condition est remplie
Critère C6 (court terme)	-137,5 (0,012% du temps)	La condition est remplie	Condition dépassée d'environ 1 dB	Condition dépassée d'environ 3 dB

4.2.5 Brouillage d'une constellation de satellites non OSG du SFS de 288 satellites vers un récepteur directionnel du service fixe

La Fig. 12 représente la distribution cumulative du brouillage d'une constellation de 288 satellites vers un récepteur du service fixe directionnel pour un angle d'élévation situé entre 0° et 60°.

FIGURE 12

Brouillage d'une constellation de satellites non OSG du SFS de 288 satellites vers un récepteur directionnel du service fixe



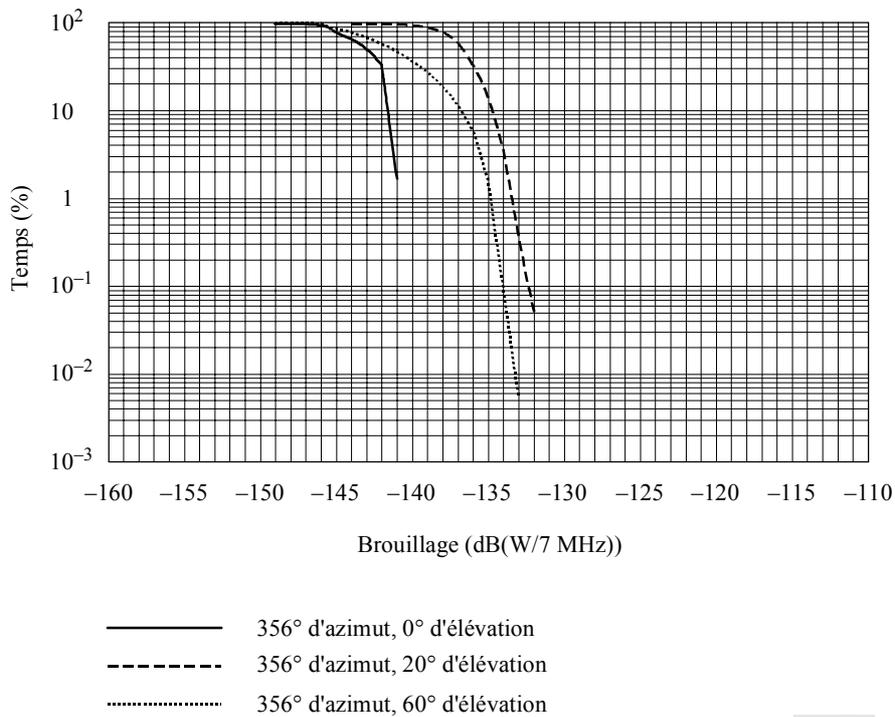
Chaque condition est analysée par rapport aux résultats indiqués à la Fig. 12 pour un récepteur avec un facteur de bruit supposé de 8 dB.

	Critère de puissance de brouillage référencé pour une largeur de bande de 7 MHz	Angle d'élévation de 0°	Angle d'élévation de 10°	Angle d'élévation de 20°	Angle d'élévation de 60°
Critère C1 (long terme)	-137,5 (20% du temps)	Condition dépassée d'environ 3 dB	Condition dépassée d'environ 7 dB	Condition dépassée d'environ 7,5 dB	Condition dépassée d'environ 1 dB
Critère C2 (court terme)	-118,5 (0,01% du temps)	Condition remplie	Condition remplie	Condition remplie	Condition remplie de justesse
Critère C3 (court terme)	-114,5 (0,0003% du temps)	Condition remplie	Condition remplie	Condition remplie	Condition remplie
Critère C4 (court terme)	-107,5 (0,001% du temps)	Condition remplie	Condition remplie	Condition remplie	Condition remplie
Critère C5 (court terme)	-122,5 (0,012% du temps)	Condition remplie	Condition remplie	Condition dépassée d'environ 1 dB	Condition dépassée d'environ 3,5 dB

4.2.6 Brouillage d'une constellation de satellites non OSG du SFS de 288 satellites vers un récepteur sectoriel du service fixe

La Fig. 13 illustre le brouillage d'une constellation de satellites non OSG du SFS de 288 satellites vers une antenne sectorielle du service fixe.

FIGURE 13
Brouillage d'une constellation de satellites non OSG du SFS de 288 satellites vers une antenne sectorielle du service fixe (isolation de polarisation = 0 dB)



Chaque condition est analysée par rapport aux résultats indiqués à la Fig. 13 pour un récepteur avec un facteur de bruit supposé de 8 dB.

	Critère de puissance de brouillage référencé pour une largeur de bande de 7 MHz	Angle d'élévation de 0°	Angle d'élévation de 20°	Angle d'élévation de 60°
Critère C1 (long terme)	-137,5 (20% du temps)	Condition remplie	Condition dépassée d'environ 2 dB	Condition remplie
Critère C2 (court terme)	-118,5 (0,01% du temps)	Condition remplie	Condition remplie	Condition remplie
Critère C3 (court terme)	-114,5 (0,0003% du temps)	Condition remplie	Condition remplie	Condition remplie
Critère C4 (court terme)	-107,5 (0,001% du temps)	Condition remplie	Condition remplie	Condition remplie
Critère C5 (court terme)	-122,5 (0,012% du temps)	Condition remplie	Condition remplie	Condition remplie
Critère C6 (court terme)	-137,5 (0,012% du temps)	Condition remplie	Condition dépassée d'environ 5,5 dB	Condition dépassée d'environ 4,5 dB

5 Conclusions

On a examiné les niveaux de puissance surfacique suivants afin de s'assurer qu'ils sont satisfaisants pour protéger les systèmes du service fixe dans la bande 40,5-42,5 GHz:

-115	dB(W/(m ² · MHz))	pour	$\theta \leq 5^\circ$
-115 + 0,5($\theta - 5$)	dB(W/(m ² · MHz))	pour	$5^\circ < \theta \leq 25^\circ$
-105	dB(W/(m ² · MHz))	pour	$25^\circ < \theta \leq 90^\circ$

Si l'on considère le brouillage d'un système du SFS non OSG LEO V2 vers des antennes directionnelles et sectorielles, on constate que toutes les conditions pertinentes sont remplies.

Si l'on considère le brouillage du système du SFS non OSG LEO V4 vers des antennes directionnelles et sectorielles, on constate que toutes les conditions sont remplies lorsque l'angle d'élévation est de 0°. Lorsque l'antenne directionnelle est orientée sur des angles d'élévation de 20° et 60°, le critère C1 de brouillage à long terme est dépassé de 2 à 5 dB et le critère C6 à court terme est dépassé de 1 à 2 dB. En ce qui concerne le critère à court terme, le brouillage peut être considéré comme admissible puisque, dans la plupart des cas, les récepteurs du service fixe avec des angles d'élévation élevés posséderont des marges d'évanouissement plus importantes. Si l'on considère le critère à long terme C1, le brouillage sera admissible puisque, dans la plupart des cas, les récepteurs du service fixe avec des angles d'élévation élevés présenteront des niveaux de rapport C/N à long terme plus élevés que ceux des récepteurs placés en bordure de la zone de service.

Si l'on considère le brouillage du système du SFS non OSG LEO V4 vers l'antenne sectorielle du service fixe, on constate que le critère à court terme C6 est dépassé de 1 à 3 dB pour des angles d'élévation de 20° et 60° respectivement. Ce brouillage sera admissible puisque, dans la pratique, on observera une marge supplémentaire due à une longueur de trajet plus courte.

Pour les systèmes SFS non OSG avec des constellations de satellites importantes (c'est-à-dire supérieures à 99 satellites), des études préliminaires ont montré qu'il est possible que le service fixe nécessite une meilleure protection.

Les limites de puissance surfacique susmentionnées, lorsqu'elles sont appliquées à des systèmes SFS non OSG, sont satisfaisantes pour protéger les systèmes du service fixe du type présenté au § 3.1 de la présente Annexe 2.