

RECOMMANDATION UIT-R SA.1449

**POSSIBILITÉ DE PARTAGE DE FRÉQUENCES ENTRE LE SFS (ESPACE VERS TERRE),
LE SERVICE D'EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (PASSIVE) ET LE
SERVICE DE RECHERCHE SPATIALE (PASSIVE) DANS LA BANDE 18,6-18,8 GHz**

(Question UIT-R 215/7)

(2000)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la bande des 18,6-18,8 GHz est attribuée au SFS (espace vers Terre) à titre primaire;
- b) que la bande des 18,6-18,8 GHz est attribuée au service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) (passive) et au service de recherche spatiale (SRS) (passive) à titre primaire en Région 2 et à titre secondaire en Régions 1 et 3;
- c) que le numéro S5.523 du RR stipule qu'il est demandé aux administrations de limiter, dans la mesure du possible, la puissance surfacique produite à la surface de la Terre dans la bande 18,6-18,8 GHz, afin de réduire les risques de brouillage subi par les détecteurs passifs des SETS et SRS;
- d) que la télédétection passive est nécessaire dans cette bande pour obtenir des données environnementales essentielles à l'échelle mondiale et qu'il n'existe aucune autre bande de fréquences disponible qui pourrait la remplacer;
- e) que la bande des 18,6-18,8 GHz est très importante pour le SFS compte tenu du grand nombre de systèmes actuellement à l'état de projet et de l'existence de plusieurs systèmes déjà en fonctionnement;
- f) que des études ont été menées pour évaluer le niveau cumulatif des brouillages reçus par un détecteur passif spatioporté de plusieurs satellites d'émission du SFS utilisant tous des faisceaux ponctuels et ayant la même zone d'observation et qu'elles ont conclu que des limites devaient être imposées aussi bien aux systèmes du SFS qu'aux systèmes du SETS (passive) si un partage devait être effectué (voir Annexe 1);
- g) que des études ont montré que des satellites du SFS situés sur des orbites elliptiques fortement inclinées (HEO, *highly elliptical orbits*) de 8, 12 et 24 h provoquaient moins de brouillage sur le détecteur que des satellites OSG du SFS (voir Annexe 2),

recommande

- 1 que les détecteurs passifs des SETS et SRS qui rassemblent des données sur des masses terrestres soient conçus de façon à ne collecter des données que lorsqu'ils se déplacent vers le nord dans l'hémisphère Nord et vers le sud dans l'hémisphère Sud et à utiliser une antenne inclinée à environ 40° par rapport au nadir qui balaie en azimut dans la direction du vecteur de vitesse de l'engin spatial;
- 2 que les détecteurs passifs soient conçus de façon à fonctionner dans un environnement brouillé imputable à une puissance surfacique produite par un système du SFS à la surface de la Terre et limitée à -95 dB(W/m²) dans la bande 18,6-18,8 GHz; cette valeur pourrait être dépassée d'un maximum de 3 dB pendant moins de 5% du temps.

ANNEXE 1

**Évaluation du brouillage potentiel du SETS (passive) dans la bande
18,6-18,8 GHz imputable aux satellites OSG du SFS****1 Introduction**

Les détecteurs de mission à hyperfréquences spatioportés utilisent des antennes à faisceau très étroit pour recueillir des renseignements comme la température au sol, la teneur en humidité, l'état de la mer, etc. Certains détecteurs passifs utilisent la bande des 18,6-18,8 GHz. Cette bande est également utilisée par des systèmes OSG du SFS. Il existe une probabilité de brouillage excessif des détecteurs passifs imputable à ces satellites OSG. Ce brouillage serait dû

principalement à l'énergie diffusée des cibles terriennes vers les antennes de réception de ces détecteurs passifs. Le niveau de brouillage dépend des éléments suivants: puissance surfacique OSG individuelle, nombre de systèmes OSG simultanés, méthodes de réutilisation des fréquences du SFS, réflectivité du terrain caractérisée par le coefficient de diffusion du terrain, et mode de fonctionnement du détecteur spatioporté. Aux Etats-Unis d'Amérique, les détecteurs passifs sont attribués à titre primaire à la bande 18,6-18,8 GHz. Aux Etats-Unis d'Amérique la puissance surfacique du SFS est limité à $-101 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 200 \text{ MHz))}$. Sur le plan international, les détecteurs passifs ont des attributions à titre primaire en Région 2 et à titre secondaire en Régions 1 et 3. Le Tableau S21.4 du RR limite la puissance surfacique du SFS à $-92 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 200 \text{ MHz))}$ pour des angles d'élévation faibles et à $-82 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 200 \text{ MHz))}$ pour des angles d'élévation plus élevés.

Il existe, en conséquence, un potentiel de puissance surfacique imputable au SFS allant globalement de $-101 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 200 \text{ MHz))}$ à $-82 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 200 \text{ MHz))}$. Comme les détecteurs passifs spatioportés ne seraient exposés que de manière intermittente à l'énergie diffusée provenant des zones de couverture du SFS, il est intéressant de déterminer la fréquence des événements de brouillage excessif. La Recommandation UIT-R SA.1029 stipule de considérer que, dans les bandes de fréquences utilisées en partage (à l'exception des bandes d'absorption), les niveaux de brouillage susmentionnés ($-155 \text{ dB(W/100 MHz)}$ pour 18,6-18,8 GHz) peuvent être dépassés dans moins de 5% des cellules de mesure situées dans la zone d'observation du détecteur en cas de brouillage aléatoire et dans moins de 1% des cellules de mesure en cas de brouillage systématique aux mêmes endroits.

L'objectif principal de la présente étude est d'identifier les zones de brouillage excessif pour les différents niveaux potentiels de puissance surfacique du SFS. Les critères mentionnés dans la Recommandation UIT-R SA.1029 signalent que les paramètres appropriés pour évaluer le brouillage dépendent de l'application du détecteur considéré et de la nature du brouillage produit. Dans la présente Recommandation, nous donnons des estimations aussi bien pour des événements conditionnels (fréquence compte tenu du fait que le détecteur spatioporté se trouve dans la zone de couverture du SFS) que pour des événements non conditionnels (fréquence globale).

Un objectif secondaire est d'évaluer des techniques potentielles de réduction du brouillage et de décrire une méthode possible de réduction du brouillage en évitant les géométries dans lesquelles le détecteur risque d'être pointé directement, ou presque, vers une réflexion spéculaire. On a suggéré qu'une réduction complémentaire pouvait être obtenue en limitant la plage de balayage du détecteur à la zone $\pm 70^\circ$ à $\pm 35^\circ$. Les deux méthodes ont été évaluées pour un cas précis de 4, 8 et 16 systèmes OSG du SFS couvrant simultanément une zone décrite au moyen de 24 faisceaux ponctuels.

L'approche a consisté à utiliser des simulations de Monte-Carlo pour lesquelles le brouillage subi par un détecteur spatioporté est évalué pendant qu'il tourne autour de la Terre. Le déplacement des satellites OSG, de la Terre et du détecteur spatioporté sont tous trois pris en compte. Comme la diffusion de l'énergie provenant de la surface de la Terre est un phénomène aléatoire (imputable à des effets d'évanouissement indépendants et aux variations du terrain), cette variabilité est également prise en considération dans la simulation. A chaque instant de la simulation, on a pris en compte le brouillage de l'ensemble des 16 satellites y compris la pondération due à la directivité et au décalage angulaire des différents faisceaux ponctuels.

2 Scénario de brouillage

Il est intéressant d'évaluer un niveau de brouillage de cas le plus défavorable subi par un détecteur passif du SETS pour une constellation maximale de 16 systèmes à satellites du SFS qui offrent chacun une zone de couverture commune décrite par 22 faisceaux adjacents et deux faisceaux proches qui sont néanmoins géographiquement distincts. Chacun des systèmes utilise une segmentation des fréquences à quatre temps pour réduire le brouillage intra-système. Les 16 systèmes à satellite sont ensuite regroupés par systèmes de quatre satellites qui décalent leurs options de segmentation pour réduire encore le brouillage inter-systèmes. Une réduction supplémentaire du brouillage mutuel est obtenue par une séparation des composantes spectrales de 2° entre systèmes.

La Fig. 1 représente un satellite de télédétection passive à hyperfréquences passant au-dessus d'une zone de couverture du SFS et subissant un brouillage provoqué par les réflexions au sol. Le détecteur est équipé d'une antenne de réception fortement directive qui est balayée à $\pm 70^\circ$ perpendiculairement à la direction de déplacement. La zone de télédétection est très petite en comparaison des faisceaux ponctuels du SFS qui composent la zone de couverture totale du SFS. Pour les simulations effectuées dans le cadre de la présente étude, le brouillage est calculé avec des pas de balayage de 2° .

Comme indiqué, chaque système segmentera son spectre pour minimiser le brouillage intra-système. La Fig. 2 illustre l'isolation de quatre faisceaux ponctuels obtenue au moyen d'une telle segmentation. Le modèle est répété sur l'ensemble de la zone de couverture. On fait l'hypothèse que les trois systèmes suivants décaleront la segmentation de façon que le deuxième système, par exemple, puisse utiliser F2 à la place de F1, F3 à la place de F2, etc. Tout système complémentaire suivant le quatrième système répétera simplement le modèle. L'isolation des systèmes sera favorisée par la

séparation spatiale en orbite par pas de 2° et par l'utilisation d'antennes directives par les utilisateurs installés au sol. Grâce à ce scénario, chacun des 22 faisceaux ponctuels adjacents diffusera de la puissance à partir de quatre satellites OSG avec un spectre chevauchant celui du SETS, ainsi qu'à partir d'autres satellites OSG contribuant également à cette diffusion par l'intermédiaire de lobes latéraux empiétant à partir de faisceaux adjacents.

FIGURE 1
16 systèmes OSG du SFS brouillant un détecteur spatioporté

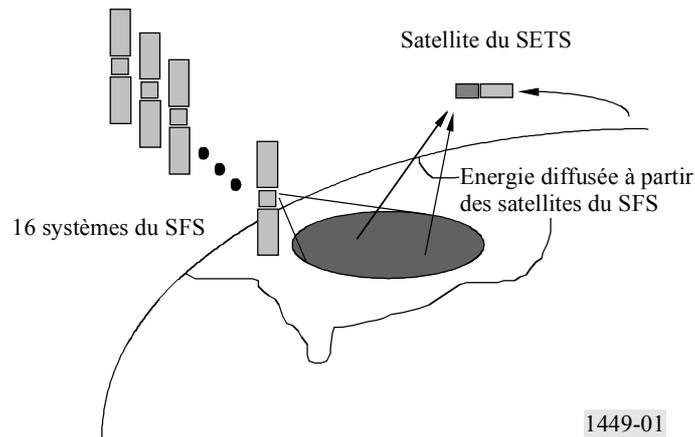
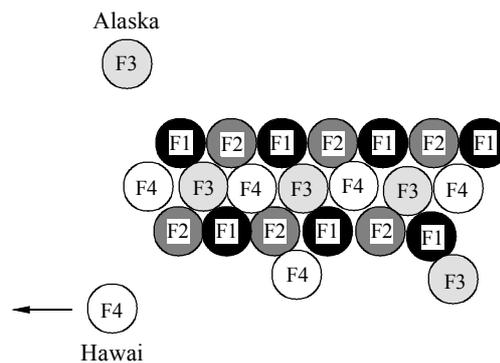


FIGURE 2
Couverture SFS typique, 22 faisceaux adjacents et deux faisceaux au large des côtes



Si ces techniques de réduction du brouillage intra-service ne sont pas appliquées, il est possible que tous les satellites utilisent une segmentation de fréquence identique. Dans ce cas, chaque faisceau ponctuel diffuserait de l'énergie provenant de 16 satellites. Toutefois, comme ces faisceaux suivraient toujours le modèle d'attribution F1-F4, un sous-ensemble seulement de ces derniers diffuserait de l'énergie qui chevaucherait la bande du SETS. Dans le scénario illustré à la Fig. 2, ce phénomène pourrait concerner de 5 à 7 faisceaux ponctuels en fonction des sélections de segments F1-F4.

Les Tableaux 1 et 2 présentent respectivement un ensemble de caractéristiques typiques des systèmes du SFS et du SETS. Le modèle de coefficient de diffusion décrit au § 3 sert de base à l'évaluation de la puissance diffusée.

TABLEAU 1

Paramètres du SFS dans la bande 18,6-18,8 GHz

Couverture	22 adjacents, 2 au large
Ouverture du faisceau à 5 dB	1,0°
Gain d'antenne maximal	46,5 dBi
Puissance surfacique à la surface de la Terre	-101,0 dB(W/(m ² · 200 MHz)) par polarisation
Polarisation	Circulaire dextrogyre et circulaire lévogyre pour chaque faisceau
Largeur de bande	200 MHz
Réutilisation des fréquences	Tous les quatre faisceaux
Diagramme d'antenne	Recommandation UIT-R S.672 avec $L_N = -25$ dB et $L_F = 0$ dBi

TABLEAU 2

Paramètres de détecteur passif spatioporté dans la bande 18,6-18,8 GHz

Altitude de l'orbite	500 km	
Inclinaison de l'orbite	90,0°	
Angle d'élévation de l'axe de visée	-45,0°	
Diagramme d'antenne	dBi	Angle hors axe, θ
	57,0	$\theta \leq 0,2^\circ$
	21,0	$0,2^\circ < \theta \leq 5,5^\circ$
	-14,0	$5,5^\circ < \theta \leq 90,0^\circ$
	-17,0	$\theta > 90,0$
Angle de balayage de l'antenne	$\pm 70^\circ$	
Polarisation	Rectiligne	
Largeur de bande de référence du récepteur	100,0 MHz	
Seuil de brouillage	-155 dB(W/100 MHz)	
Résolution spatiale longitudinale	2 km	
Résolution spatiale transversale	2 km	
Affaiblissement dû à la polarisation circulaire/rectiligne	1,5 dB	
Référence utilisée pour les évaluations de la diffusion	Ajustements de la courbe de rétrodiffusion et Théorie des facettes Skylab/Université du Kansas (voir § 3)	

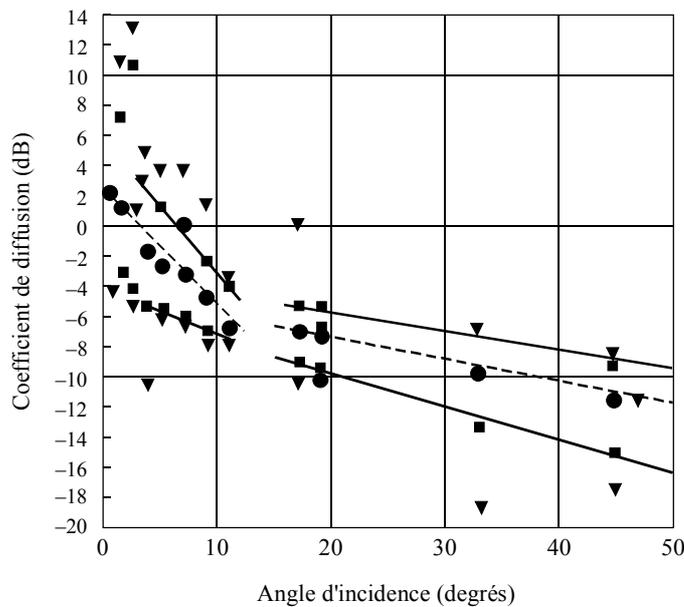
3 Modèle de diffusion

La réflectivité de la Terre indiquée par le coefficient de diffusion du terrain vu par le détecteur est un paramètre essentiel affectant le niveau de brouillage subi par un détecteur spatioporté. Elle peut donner lieu à une rétrodiffusion de l'énergie vers la source OSG du SFS et à une interception de celle-ci par un détecteur spatioporté qui s'éloigne du nadir de l'OSG. A l'inverse, l'énergie peut également être diffusée vers l'avant et interceptée par un détecteur qui se rapproche du nadir de l'OSG. On dispose de bien plus d'informations sur le phénomène de rétrodiffusion que sur celui de diffusion vers l'avant. Nous cherchons ici à exploiter les informations de rétrodiffusion disponibles ainsi que les extrapolations qui en ont été tirées pour en déduire les effets de la diffusion vers l'avant.

3.1 Coefficients de rétrodiffusion

Plusieurs méthodes de modélisation des valeurs moyenne et extrême des coefficients de rétrodiffusion sont proposées dans des documents du domaine public. Les données de diffusiomètre de Skylab, représentées à la Fig. 3, indiquent une dépendance par rapport à l'angle d'incidence qui varie rapidement dans l'intervalle de 0 à 10° la valeur maximale se situant à l'incidence 0°.

FIGURE 3
Données du diffusiomètre Skylab S-193



- Régression - Déciles supérieur et inférieur
- - - Régression - Moyenne
- Données - Moyenne
- Données - Déciles supérieur et inférieur
- ▼ Données - Niveaux 5% supérieurs et inférieurs

Droites de régression indiquées pour moyenne $0^\circ < \theta < 11^\circ$, $17^\circ < \theta < 45^\circ$.
 Déciles $3,5^\circ < \theta < 11^\circ$, $17^\circ < \theta < 45^\circ$.

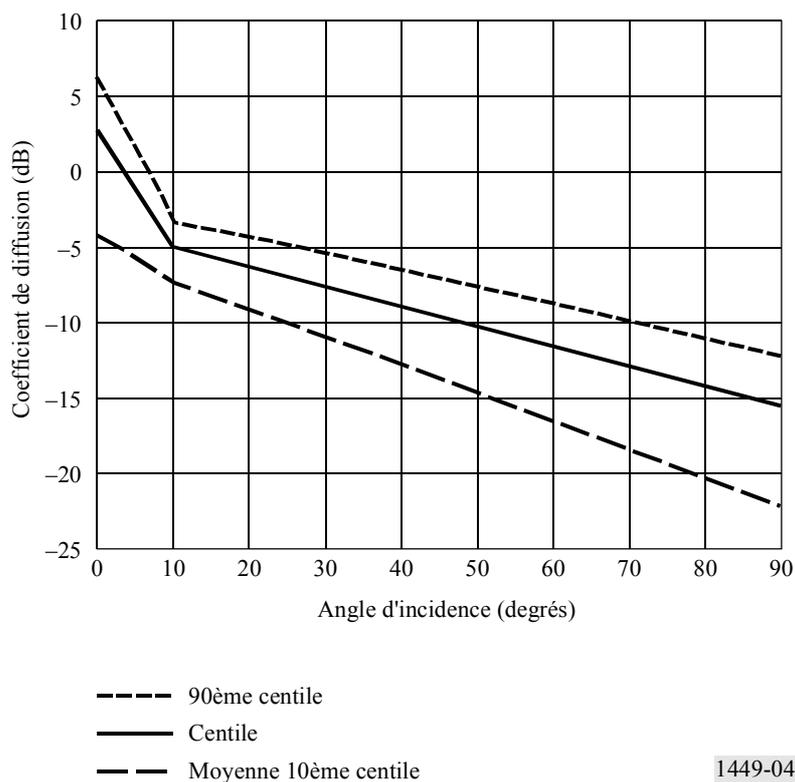
1449-03

Au-delà d'une incidence de 10°, le coefficient de diffusion continue à décroître mais à un rythme nettement plus lent. La région de 0 à 10° est considérée comme une réponse spéculaire de surface, alors que la région au-delà de cette plage est considérée comme une réponse diffuse de surface. Comme les données de Skylab proviennent d'un regroupement d'un grand nombre de types de surface, ces différentes régions ne peuvent pas être associées à un type particulier. Des

ajustements de courbe sont donnés pour la moyenne ainsi que pour les 10ème et 90ème centiles. Notez que les centiles supérieur et inférieur ne sont pas symétriques à la moyenne. Notez en outre que la largeur de l'intervalle de centiles est à son maximum pour une incidence normale et atteint sa valeur minimale pour une incidence d'environ 10°. A partir de ce point, elle augmente progressivement jusqu'à une incidence de 50°. Pour une incidence normale, la moyenne est légèrement supérieure à 2 dB. L'ajustement vers le centile supérieur pourrait suggérer une valeur d'environ 6 dB pour une incidence normale.

Plusieurs modèles ont également été proposés pour des distributions statistiques des coefficients de rétrodiffusion. Lorsque le faisceau d'un détecteur est rempli par un terrain homogène, un modèle approprié pour le signal reçu utilisant un détecteur parabolique est une fonction exponentielle de densité de probabilité. Pour un terrain complexe, on a proposé la fonction de densité de probabilité logarithmique normale et diverses variantes. Comme les données de Skylab regroupent un grand nombre de types de terrain (l'ensemble du territoire des Etats-Unis d'Amérique), la densité log-normale est utilisée ici pour donner une approximation de la distribution statistique du coefficient de diffusion. La moyenne du coefficient de diffusion est extrapolée à partir des données de Skylab et d'autres données disponibles. Les paramètres log-normaux sont déduits en faisant l'hypothèse d'un processus log-normal qui produit la moyenne extrapolée et reproduit la variabilité observée par Skylab. La moyenne et les centiles du coefficient de diffusion ainsi obtenus sont représentés à la Fig. 4. Comme indiqué ci-dessus, les centiles ne sont pas disposés symétriquement par rapport à la moyenne. De plus, les niveaux absolus ne diffèrent pas notablement des mesures fournies par Skylab à 13,9 GHz.

FIGURE 4
Modèle de coefficient de diffusion pour la bande 18,6-18,8 GHz
(Moyenne et centiles)

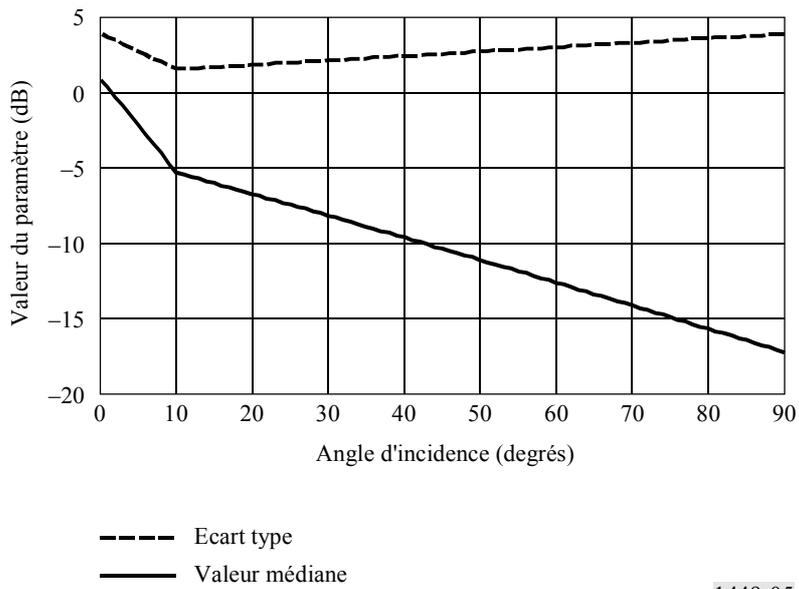


La Fig. 5 représente les paramètres log-normaux nécessaires pour adapter la moyenne et la variabilité extrapolées à 18,6-18,8 GHz. La valeur médiane dérivée est proche de la moyenne sans être identique à celle-ci, ni devoir l'être. L'écart type est proche de 4 dB à l'incidence 0°, atteint sa valeur minimale à une incidence d'environ 10° et augmente progressivement jusqu'à environ 4 dB à l'incidence 90°.

Si on applique ces paramètres, le coefficient de diffusion présente les distributions cumulatives approximatives représentées à la Fig. 6. Alors que pour une incidence normale, le centile supérieur est proche de 6 dB, il est nettement plus faible pour une incidence de 10°, environ -4 dB. Comme le détecteur passif spatioporté sera conçu pour observer la Terre à des angles obliques proches de 40°, on peut noter à partir des courbes représentées aux Fig. 5 et 6 que le centile supérieur pourrait être nettement plus faible que la valeur attendue à une incidence normale.

FIGURE 5

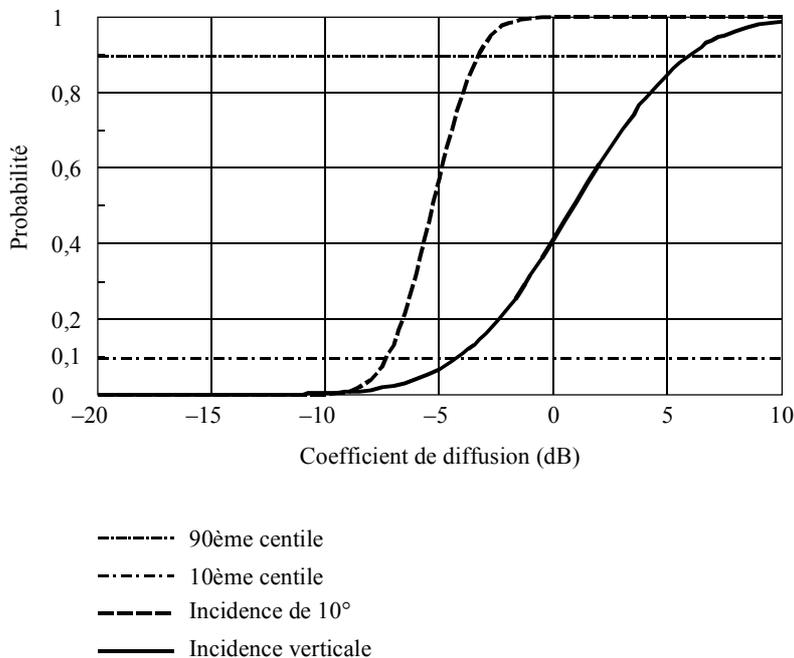
Paramètres de distribution log-normaux pour la bande 18,6-18,8 GHz



1449-05

FIGURE 6

Distribution cumulative du coefficient de diffusion pour une incidence normale et à 10°



1449-06

3.2 Coefficients de diffusion bistatiques

On a suggéré qu'il était possible de créer un modèle de coefficient de diffusion bistatique à partir de données de rétrodiffusion en faisant l'hypothèse que la surface de la Terre pouvait être comparée, en première approximation, à un ensemble de facettes plates. Cette approche utilise une approximation par optique géométrique au moyen de laquelle les rayons réfléchis sont traités comme des segments de droite.

La Fig. 7 illustre un rayon incident empiétant sur une facette inclinée à un angle Φ_x par rapport à la verticale. La normale par rapport à cette facette divise en deux parties égales l'angle aigu formé par les rayons incident et diffusé. Le pourcentage de facettes présentant une telle orientation devrait être indiqué par la relation de rétrodiffusion antérieure à l'angle Φ_x . Dès lors, pour une paire (Φ_i, Φ_s) , nous obtenons le coefficient de diffusion correspondant en extrayant cette valeur des données ajustées à un angle intermédiaire correspondant à Φ_x . A partir de la relation géométrique ci-après:

$$\Phi_x = (\Phi_i - \Phi_s) / 2$$

si nous redéfinissons Φ_s comme suit:

$$\Phi_s = \Phi_i + \Delta\Phi_s$$

alors Φ_s est considéré comme étant rapporté à la direction spéculaire, qui est identique à l'angle d'incidence, Φ_i .

Après modification, on obtient:

$$\Phi_x = -\Delta\Phi_s / 2$$

c'est-à-dire que Φ_x a une amplitude de la moitié de la valeur de la différence entre Φ_s et l'angle spéculaire. De plus, la direction de Φ_x est opposée à celle de $\Delta\Phi_s$, c'est-à-dire qu'elle est négative si Φ_s est plus grand que Φ_i et positive si Φ_s est plus petit que Φ_i .

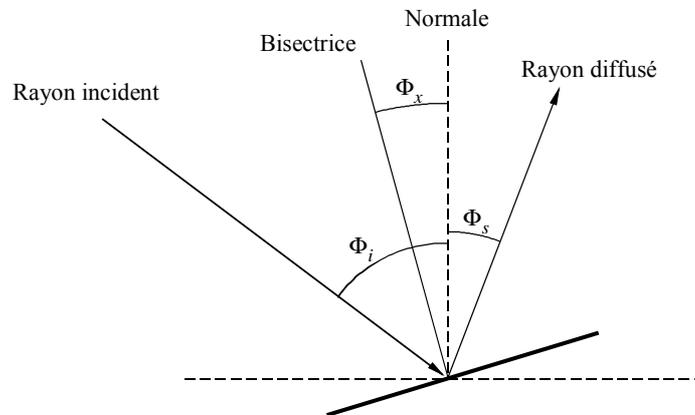
Nous pouvons alors estimer le coefficient de diffusion vers l'avant, rapporté à la direction spéculaire, comme suit:

$$\sigma_s(\Delta\Phi_s) = \sigma_0(-\Delta\Phi_s / 2)$$

où σ_s est le coefficient de diffusion souhaité et σ_0 coefficient de rétrodiffusion de référence (σ_s et σ_0 sont des symboles conventionnels réservés au coefficient de diffusion et ne doivent pas être confondus avec l'écart-type utilisé dans des sections antérieures). Notez que pour $\Phi_s = \Phi_i$, Φ_x est toujours nul et le σ_0 correspondant est celui qui se produit au point de crête de la relation de rétrodiffusion, c'est-à-dire qu'il correspond toujours au nombre de facettes à l'élévation zéro. De plus, lorsque $\Phi_s = -\Phi_i$ ($\Delta\Phi_s = -2\Phi_i$ et la direction de diffusion coïncide avec la direction d'incidence), $\Phi_x = \Phi_i$ et σ_0 est la valeur correspondant à l'angle de rétrodiffusion Φ_i , comme il convient. Dans d'autres cas, le coefficient de diffusion dans la direction avant à un angle $\Delta\Phi_s$ par rapport à la direction spéculaire est le même que le coefficient de rétrodiffusion à la moitié de cet angle par rapport à la normale. Par exemple, à partir de la formule ci-dessus, le coefficient de diffusion vers l'avant à 90° par rapport à la direction spéculaire serait le même que le coefficient de rétrodiffusion à 45° de la verticale.

Avec une relation de rétrodiffusion symétrique, la relation de diffusion vers l'avant peut être obtenue en prenant simplement la relation de rétrodiffusion centrée par rapport à la direction spéculaire et en doublant son axe angulaire.

FIGURE 7
Approximation des optiques géométriques de l'écho
du sol dans le plan de réflexion



1449-07

Nous pouvons étendre cette méthode à la direction hors plan. La Fig. 8 illustre le cas où une portion de la puissance incidente est diffusée hors plan. \vec{V}_i est un vecteur unité pointant dans la direction de laquelle le rayonnement entrant arrive. \vec{V}_s est un vecteur unité pointant dans la direction du satellite à bord duquel se trouve le détecteur. \vec{V}_{bi} se situe dans le plan de \vec{V}_i et \vec{V}_s et coupe en deux parties égales l'angle aigu formé par ces deux vecteurs. Les facettes

déterminant la puissance réfléchie dans la direction \vec{V}_s vers l'avant sont celles qui se trouveraient en position normale par rapport au vecteur \vec{V}_{bi} . Comme auparavant, ce serait la position angulaire de la bissectrice par rapport à la normale qui définirait la valeur de σ_0 . En notation vectorielle (la sommation, telle qu'elle est décrite, forme toujours la bissectrice si \vec{V}_i et \vec{V}_s sont des vecteurs unités).

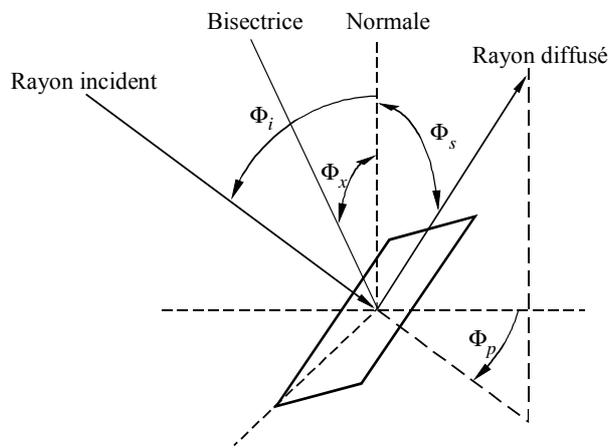
$$\vec{V}_{bi} = (\vec{V}_i + \vec{V}_s)$$

et (l'amplitude de \vec{V}_{nor} est indiquée uniquement à des fins d'exhaustivité puisque sa valeur est unitaire par définition):

$$\Phi_x = \arccos \left(\frac{\vec{V}_{bi} \cdot \vec{V}_{nor}}{|\vec{V}_{bi}| |\vec{V}_{nor}|} \right)$$

FIGURE 8

Géométrie de la diffusion hors plan

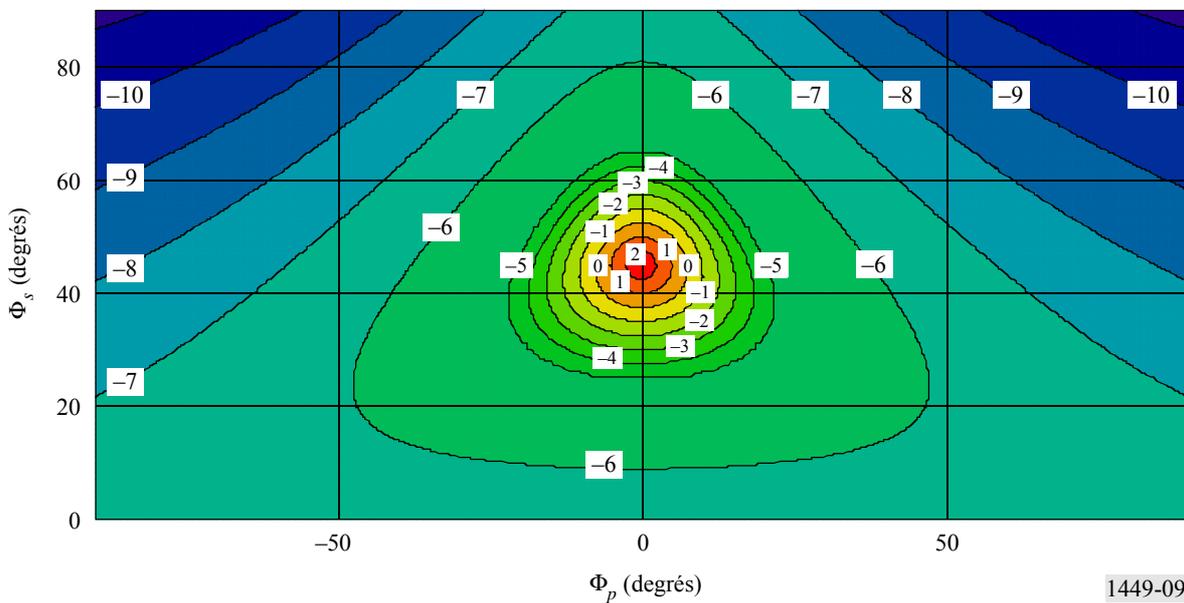


1449-08

Si l'on évalue le coefficient de diffusion moyen correspondant à Φ_x dans le cas hors plan, on obtient un tracé de contours tel que celui représenté à la Fig. 9 lorsque l'angle d'incidence $\Phi_i = 45^\circ$.

FIGURE 9

Contours d'un coefficient de réflexion vers l'avant constant



1449-09

Notez que l'énergie maximale est concentrée dans la direction spéculaire ($\Phi_p = 0$, $\Phi_s = 45$). Notez en outre que le diagramme est pratiquement symétrique par rapport à la direction spéculaire à proximité de la direction spéculaire mais qu'il s'écarte notablement de la symétrie dans les zones éloignées de cette direction.

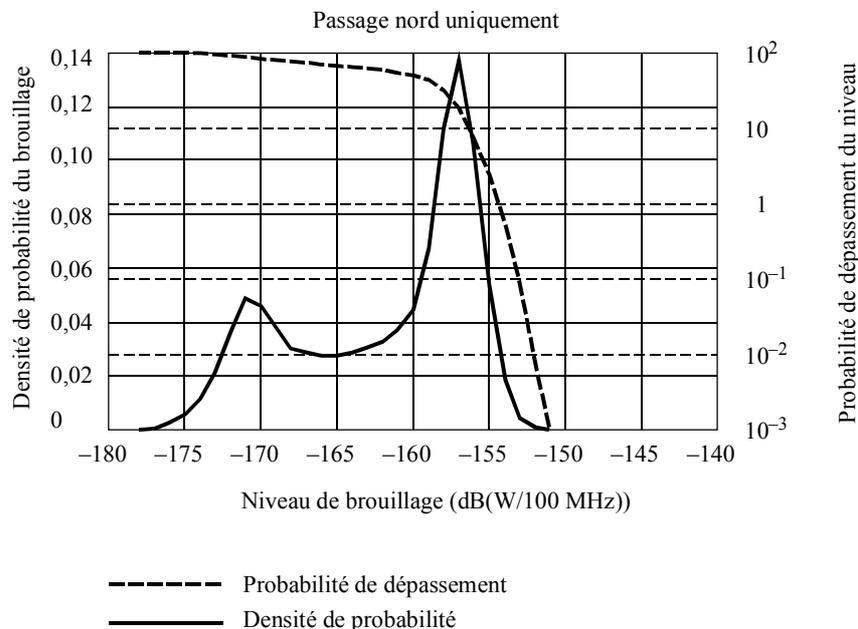
4 Résultats

4.1 Statistiques de brouillage conditionnelles

Nous examinons d'abord la question du pourcentage de mesures de détecteur qui risquent d'être corrompues compte tenu du fait que le détecteur se trouve dans une zone de couverture d'un satellite du SFS. Dans une zone de couverture multi-faisceaux comme celle décrite au § 2, la couverture d'un satellite du SFS peut concerner une administration complète comme celle du territoire continental des Etats-Unis d'Amérique. Dans un tel cas, l'affaiblissement de pixel dans cette administration serait critique. Les statistiques conditionnelles fournissent ces renseignements. Pour obtenir ces statistiques, nous limitons la zone de survol du détecteur à une zone rectangulaire qui recouvre exactement une zone de couverture générique d'un satellite fixe telle que décrite au § 2. Des survols répétés ont été simulés avec une attribution aléatoire du noeud ascendant et les données de brouillage ont été recueillies uniquement pendant que le détecteur se trouvait dans un rectangle défini par un intervalle de latitude allant de 20° à 55° N et un intervalle de longitude allant de -130° à -52° O. Chaque sous-segment d'orbite provenait d'un passage vers le nord, qui en principe va de l'équateur vers le pôle Nord. Limiter les données à de tels passages du détecteur constitue une technique de réduction du brouillage. La densité de probabilité de brouillage et la distribution des excédents qui en découlent sont illustrées à la Fig. 10 dans le cas où chacun des 16 satellites OSG du SFS produit une puissance surfacique de -101 dB(W/(m² · 200 MHz)) dans chacune des deux polarisations pour chacun des 22 faisceaux ponctuels adjacents. Ces satellites sont organisés par groupes de quatre avec les mêmes plans de répartition des canaux définis de telle sorte que chaque faisceau diffuse de l'énergie chevauchant la bande du service d'exploration de la Terre par satellite à partir de quatre satellites de l'ensemble uniquement (voir § 2).

FIGURE 10

Brouillage dans le cas de groupes de quatre satellites avec une puissance surfacique de -101 dB(W/(m² · 200 MHz)) dans les deux polarisations de 22 faisceaux ponctuels adjacents



1449-10

La densité de probabilité du brouillage présente deux modes, l'un immédiatement sous -170 dB(W/100 MHz) et l'autre à proximité de -157 dB(W/100 MHz). Le mode supérieur correspond aux crêtes des faisceaux ponctuels du SFS, alors que le niveau inférieur correspond approximativement au piédestal du lobe latéral du diagramme d'antenne décrit dans la Recommandation UIT-R S.672. Dans ce scénario, le critère de brouillage (-155 dB(W/100 MHz)) serait dépassé pour 2,4% des pixels. Ce chiffre correspond à environ la moitié de la quantité admissible pour des occurrences aléatoires (5%). Le coude de la courbe de distribution des dépassements se situe environ au niveau de 20% des occurrences.

4.2 Extrapolation vers le cas non conditionnel (global) et autres valeurs de puissance surfacique du SFS

Le § 4.1 décrit l'affaiblissement de pixels lorsque le détecteur se situe au-dessus d'une zone de couverture OSG du SFS. Dans les situations où la zone d'observation de l'application du détecteur est globale, il est intéressant de connaître l'affaiblissement global de pixels. Nous faisons ici une estimation des statistiques d'affaiblissement global en extrapolant le cas conditionnel au moyen des rapports zone du SFS/zone continentale totale de la Terre. La surface continentale totale de la Terre est de 147 millions km², ce qui représente environ 29% de la surface totale de la Terre (511 millions km²). La couverture SFS de cette zone sera probablement limitée aux latitudes situées sous la limite des 60° N (restrictions d'élévation) et des 40° S (distribution de population). Si l'on parcourt manuellement une carte de cette région, on constate que la couverture maximale du SFS est d'environ 86% de la surface totale. Par conséquent, la couverture maximale du SFS est d'environ 25% (0,86 × 0,29) de la surface totale de la Terre. L'extrapolation des fréquences de dépassement vers le cas global est donc de:

$$P(I > X / \text{Zone Continentale}) = P(I > X / \text{Zone de Couverture SFS}) \cdot P(\text{Zone de Couverture SFS} / \text{Zone Continentale})$$

D'après l'équation ci-dessus:

$$P(\text{Zone de Couverture SFS} / \text{Zone Continentale}) = 0,86$$

L'extrapolation pour différentes limites de puissance surfacique OSG est obtenue en décalant les courbes de dépassement vers la droite de la valeur dont la nouvelle puissance surfacique dépasse -101 dB(W/(m² · 200 MHz)).

4.3 Fréquence des affaiblissements excessifs de pixels

Les méthodes présentées dans les sections ci-dessus ont été utilisées pour générer les résultats énumérés au Tableau 3. Les résultats reportés sur la Fig. 10 sont basés sur l'hypothèse d'un déploiement maximal de 16 systèmes du SFS par zone de couverture, tous ces systèmes fournissant des zones de couverture à chevauchement et à double polarisation aux 24 faisceaux ponctuels. Des scénarios complémentaires à 4 et 8 satellites par zone de couverture SFS ont également été étudiés. Si la limite de puissance surfacique admissible du SFS est fixée à -101 dB(W/(m² · 200 MHz)), on obtient les distributions de dépassement pour des systèmes comprenant 4, 8 et 16 systèmes par zone de couverture du SFS illustrées à la Fig. 11. L'exemple à 16 systèmes présente quatre sources de brouillage communes par faisceau ponctuel, l'exemple à huit systèmes deux et celui à quatre systèmes une seule. Pour une probabilité de dépassement donnée, le niveau de brouillage est réduit approximativement de la proportion du nombre de sources de brouillage par faisceau.

FIGURE 11
Distributions des dépassements

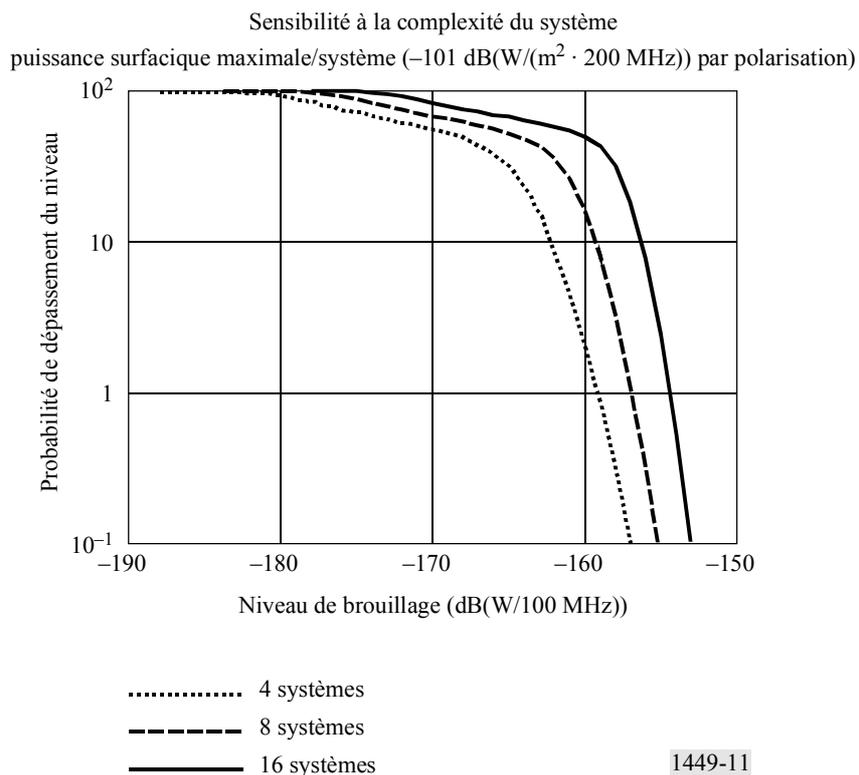


TABLEAU 3

Affaiblissement de couverture pour différentes valeurs de puissance surfacique du SFS

Puissance surfacique (dB(W/(m ² · 200 MHz)))	Affaiblissement de données au-dessus de la zone d'observation du SFS (%)			Affaiblissement de données au-dessus de toutes les terres émergées (%)		
	4	8	16	4	8	16
-101			2,4			2,1
-100		0,3	7,8		0,3	6,7
-99	0,1	1,1	18,4	0,1	1,0	15,8
-98	0,3	3,2	32,1	0,3	2,8	27,6
-97	0,8	7,9	43,3	0,7	6,8	37,2
-96	2,0	16,1	50,1	1,7	13,8	43,0
-95	4,4	26,5	54,5	3,7	22,8	46,9
-94	8,6	36,3	58,3	7,4	31,2	50,1
-93	14,9	43,6	61,6	12,8	37,5	52,9
-92	22,9	48,7	64,6	19,7	41,8	55,6
-91	31,5	52,6	67,5	27,0	45,2	58,0
-90	38,9	56,1	70,3	33,5	48,2	60,4
-89	44,7	59,2	73,0	38,4	50,9	62,8
-88	49,4	62,2	75,9	42,5	53,5	65,3
-87	53,3	65,2	78,9	45,8	56,1	67,9
-86	56,7	68,1	82,7	48,8	58,5	71,1
-85	59,9	71,0	87,3	51,5	61,0	75,1
-84	63,1	74,3	92,2	54,2	63,9	79,3
-83	66,2	78,1	95,8	56,9	67,2	82,4
-82	69,4	82,8	98,0	59,7	71,2	84,2

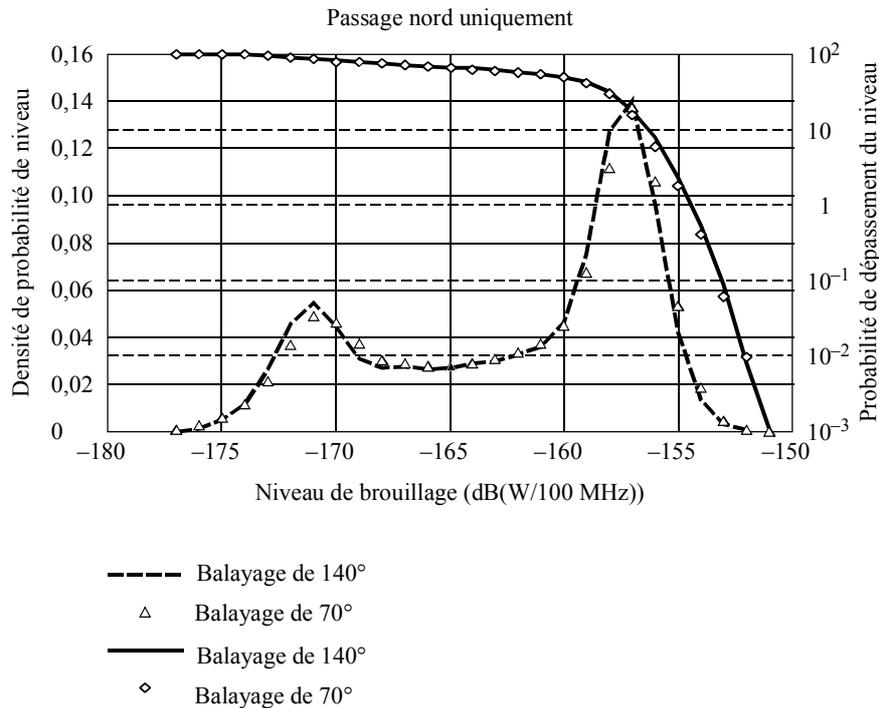
Le critère de brouillage systématique de 1% est dépassé pour toutes les valeurs de puissance surfacique dans le cas d'un système à 16 satellites mais n'est pas dépassé pour des limites de puissance surfacique inférieures à -98 dB(W/(m² · 200 MHz)) dans le cas d'un système à 8 satellites, ni pour des limites inférieures à -96 dB(W/(m² · 200 MHz)) dans le cas d'un système à 4 satellites. Le critère d'occurrence aléatoire de 5% est satisfait dans plusieurs cas.

4.4 Sensibilité à la plage de balayage du détecteur

Il a été proposé que, dans certaines circonstances, on pouvait obtenir un certain degré de réduction du brouillage en réduisant la plage de balayage du détecteur. Cette approche a été testée sur le scénario décrit au § 2 et on a noté qu'il donnait lieu à un avantage insignifiant.

Les traits pleins de la Fig. 12 reprennent les résultats d'analyses antérieures qui comprenaient un balayage de $\pm 70^\circ$ du détecteur. Les symboles représentent le même cas de figure avec une réduction du balayage à $\pm 35^\circ$. Des essais complémentaires appliquant cette approche ont montré qu'un avantage réel pouvait être tiré lorsque le coefficient de diffusion était essentiellement spéculaire. Dans le cas contraire, l'avantage était effectivement insignifiant.

FIGURE 12
Effet de la réduction de la plage de balayage du détecteur



1449-12

5 Conclusions

Dans la présente annexe, nous avons étudié l'affaiblissement de données subi par le détecteur passif pour une variété de limites de puissance surfacique du SFS allant de $-101 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 200 \text{ MHz))}$ à $-82 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 200 \text{ MHz))}$. La présente étude a permis de déterminer l'affaiblissement de données du détecteur passif pour une variété de scénarios de déploiement de systèmes du SFS allant de 4 à 16 satellites SFS par zone de couverture du SFS. Les résultats sont détaillés au Tableau 3.

Ces valeurs ont été dérivées en faisant l'hypothèse que l'ensemble des terres émergées de la planète étaient desservies par la même distribution de systèmes du SFS. Ceci n'est manifestement pas le cas puisque de nombreuses zones du monde n'exigent que quatre satellites SFS ou moins pour desservir une zone donnée et que très peu de zones du monde exigent de 8 à 16 satellites SFS pour satisfaire leurs besoins en communications. Si l'on prend en compte cette répartition inégale au niveau mondial et qu'en plus le détecteur se borne à enregistrer des données sur 50% de son orbite uniquement (c'est-à-dire pendant son déplacement vers les pôles), la limite de puissance surfacique qui autorise des détecteurs passifs à acquérir une quantité satisfaisante de données utiles au-dessus des zones émergées au niveau mondial est de $-95 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 200 \text{ MHz))}$. Il convient de noter que les détecteurs passifs qui enregistrent des données exclusivement au-dessus de zones océaniques subiront des affaiblissements de données bien plus faibles que les valeurs indiquées au Tableau 3 et pourront dès lors acquérir des données sur la totalité de leur orbite au-dessus des océans. C'est pourquoi cette limite de puissance surfacique protégera mieux les applications de télédétection de type océanique.

ANNEXE 2

Partage entre détecteurs passifs spatioportés et satellites en orbite HEO dans le SFS de la bande 18,6-18,8 GHz

1 Introduction

L'objectif de la présente Annexe est d'étudier le partage entre systèmes du SFS en HEO et détecteurs passifs. De plus, on confronte la technique de réduction de 50% du facteur d'utilisation du détecteur passif, décrite à l'Annexe 1, aux systèmes du SFS.

Du fait de la discrimination d'antenne du détecteur passif (on fait l'hypothèse dans la présente Annexe d'un rapport des rayonnements avant et arrière de 74 dB), des études antérieures ont démontré que la puissance réfléchie du brouillage était plus importante que la puissance du brouillage en trajet direct. En d'autres mots, l'énergie du SFS sur le trajet descendant qui est réfléchi de la Terre vers le faisceau principal du détecteur est plus importante que la puissance de brouillage qui arrive directement du satellite du SFS dans le lobe arrière de l'antenne du détecteur. C'est pourquoi la présente étude traite uniquement de la composante réfléchie de la puissance de brouillage.

2 Paramètres du détecteur passif spatioporté

Les paramètres utilisés par hypothèse pour le détecteur passif spatioporté s'appuient sur les Recommandations UIT-R SA.515, UIT-R SA.1028 et UIT-R SA.1029 et sont identiques à ceux indiqués dans l'Annexe 1. Le critère de disponibilité du détecteur passif est repris de la Recommandation UIT-R SA.1029 qui recommande de considérer que, dans les bandes de fréquences utilisées en partage (à l'exception des bandes d'absorption), les niveaux de brouillage susmentionnés (-155 dB(W/100 MHz) pour 18,6-18,8 GHz) peuvent être dépassés dans moins de 5% des cellules de mesure situées dans la zone d'observation du détecteur en cas de brouillage aléatoire et dans moins de 1% des cellules en cas de brouillage systématique aux mêmes endroits.

Dans la présente étude, on considère que les brouillages sont systématiques.

On fait l'hypothèse, pour les résultats de brouillage présentés dans les paragraphes ci-après, que la zone d'observation du détecteur est mondiale. Cette situation correspond à un détecteur qui fonctionne en continu et mesure un paramètre donné, par exemple la teneur en vapeur d'eau, aussi bien au-dessus de la mer que des terres émergées. L'hypothèse d'une zone d'observation réduite du détecteur produit des résultats de brouillage qui sont soit meilleurs ou moins bons que ceux produits en faisant l'hypothèse d'une zone d'observation mondiale en fonction de la distribution des stations terriennes du SFS.

3 Paramètres du SFS

Les paramètres du SFS utilisés par hypothèse dans la présente étude pour les systèmes en HEO sont repris pour l'essentiel du système USCSID. Le système USCSID est un système spatial américain composé de 12 satellites en orbite géostationnaire et 8 satellites en HEO qui fonctionnent dans le SFS. La composante HEO du système USCSID est désignée par l'appellation USCSID-P. Les 8 satellites en HEO se trouvent sur huit plans orbitaux présentant une période orbitale de 11 h 58 min.

Le système USCSID comprend un grand nombre de stations au sol de deux types. Les stations du premier type sont équipées d'une grande antenne (20 m) et sont utilisées à l'émission et à la réception. Les stations du deuxième type sont transportables et sont équipées d'une antenne plus petite utilisée uniquement pour la réception. Les liaisons descendantes du système USCSID fonctionnent dans la bande des 18,0 à 21,2 GHz. Les liaisons descendantes et montantes utilisent toutes deux les polarisations dextrogyre et lévogyre. Les satellites utilisent un traitement numérique du signal embarqué. Les informations de coordination relatives au système USCSID ont été enregistrées auprès de l'UIT.

Pour la présente étude, l'angle d'élévation minimal retenu pour les systèmes en HEO est de 10°. Les paramètres orbitaux des systèmes du SFS sont détaillés au Tableau 4.

TABLEAU 4

Paramètres orbitaux des systèmes du SFS

	HEO-8	HEO-12	HEO-24
Apogée (altitude) (km)	26 784	39 400	47 103
Périgée (altitude) (km)	1 000	1 000	24 469
Période (s)	28 721,33	43 082	86 164
Excentricité	0,636	0,72	0,268
Inclinaison (degrés)	63,4	63,4	63,4
Argument du périgée (degrés)	270	270	270

Les paramètres de liaison des systèmes du SFS sont détaillés au Tableau 5.

TABLEAU 5
Paramètres de liaison des systèmes du SFS en HEO

Altitude (km)	7 500	12 000	20 000
Puissance (dBW)	9,5	12,5	15
Puissance pour 100 MHz (dBW)	-6,6	-3,6	-1,1
Gain d'antenne (dBi)	51,0	51,0	51,0
Puissance surfacique au nadir (dB(W/(m ² · 100 MHz)))	-104,1	-105,2	-107,1
Puissance surfacique au nadir (dB(W/(m ² · 200 MHz)))	-101,1	-102,2	-104,1

Les systèmes en HEO utilisent une commande de régulation de leur puissance du fait des variations d'altitude. En dessous de 7 500 km, la puissance est désactivée. Entre 7 500 et 12 000 km, la puissance est de 9,5 dBW, etc.

4 Coefficient de diffusion

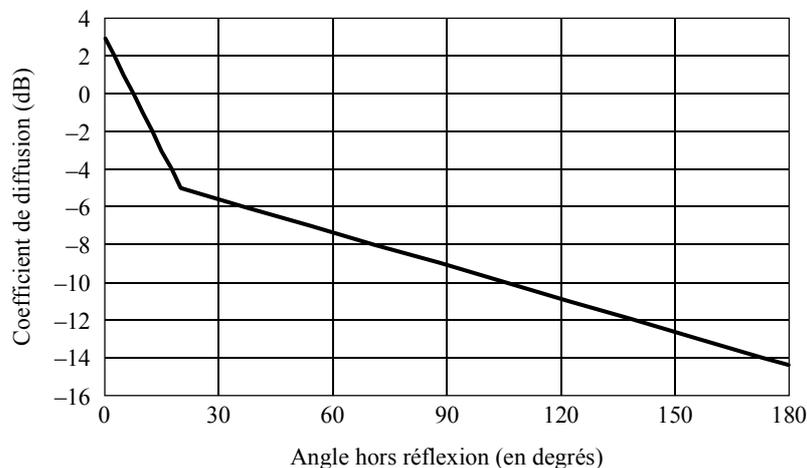
Dans la présente étude, on fait l'hypothèse que le coefficient de diffusion vers l'avant est une fonction à une seule variable, l'angle hors réflexion. L'angle hors réflexion est l'angle formé par :

- la direction dans laquelle l'énergie est diffusée vers le récepteur de mesure;
- la direction de la réflexion spéculaire.

En conséquence, le coefficient de diffusion est circulairement symétrique autour de la direction de la réflexion spéculaire.

Le coefficient de diffusion vers l'avant utilisé est illustré à la Fig. 13. Notez qu'un coefficient de diffusion de 0 dB correspond à une situation dans laquelle la surface de diffusion agit en tant que diffuseur isotropique, c'est-à-dire qu'il s'agit d'une surface diffusant l'énergie de manière égale dans toutes les directions. Un coefficient supérieur à 0 dB n'est donc nullement paradoxal.

FIGURE 13
Coefficient de diffusion



5 Puissance du brouillage reçue par le détecteur passif spatioporté

Du fait de la discrimination d'antenne du détecteur passif (on fait l'hypothèse dans la présente Annexe d'un rapport des rayonnements avant et arrière de 74 dB), la puissance réfléchie du brouillage est plus importante que la puissance du brouillage en trajet direct. En d'autres mots, l'énergie du SFS sur le trajet descendant qui est réfléchi de la Terre vers le faisceau principal du détecteur est plus importante que la puissance de brouillage qui arrive directement du satellite du SFS dans le lobe arrière de l'antenne du détecteur. C'est pourquoi la présente étude traite uniquement de la composante réfléchie de la puissance de brouillage.

La puissance réfléchie du brouillage reçue par le détecteur passif, P_R , est donnée par la formule (1).

$$P_R = dfp \frac{1}{\cos(\theta_R)} \frac{\lambda^2 \pi}{64} \sigma_0 L_T L_R L_P \quad (1)$$

où:

- dfp : puissance surfacique de l'émetteur du SFS mesurée à la surface de la Terre
- θ_R : angle d'incidence du détecteur passif, mesuré à partir de la verticale
- σ_0 : coefficient de diffusion
- L_T : affaiblissements imputables à l'atmosphère sur le trajet de l'émetteur du SFS vers la zone de diffusion
- L_R : affaiblissements imputables à l'atmosphère de la zone de diffusion vers le détecteur
- L_P : affaiblissements imputables à la polarisation.

6 Simulation du brouillage

Les statistiques de satellites du SFS en HEO brouillant un détecteur passif ont été déterminées au moyen d'une simulation informatique. Pour chaque simulation, un seul satellite du SFS a été utilisé. L'objet de cette approche était d'illustrer les effets de la géométrie HEO et non de modéliser un système à plusieurs satellites donné. Dans le § 7, on explique comment ces résultats peuvent être interpolés afin de représenter des systèmes à satellites multiples.

Afin de définir les positions relatives des orbites, aucune perturbation n'a été utilisée. Chaque simulation a été échelonnée sur 200 jours avec un pas temporel de 10 s. Ce pas temporel est égal au temps minimum nécessaire au détecteur passif pour traverser l'empreinte de 3 dB du SFS.

On a fait l'hypothèse d'un affaiblissement de polarisation de 1,5 dB correspondant à l'isolation entre la polarisation rectiligne et circulaire. On a utilisé le modèle d'affaiblissement atmosphérique décrit dans la Recommandation UIT-R P.618. On a fait l'hypothèse des conditions atmosphériques suivantes: temps clair, tension de vapeur d'eau de 7,5 g/m³ et température de 15° C.

Une technique de réduction du brouillage du détecteur passif consiste à mettre en route le détecteur lorsqu'il s'éloigne de l'équateur et à l'éteindre lorsqu'il s'en rapproche. Cette technique est efficace en présence de systèmes OSG du SFS puisque l'angle hors réflexion est généralement important lorsque le détecteur s'éloigne de l'équateur.

La simulation a été effectuée pour le cas éloignement de l'équateur décrit ci-dessus. Elle a en outre été effectuée pour un détecteur fonctionnant en continu, et, à des fins d'exhaustivité, pour le cas rapprochement de l'équateur. Dans le cas rapprochement de l'équateur, le détecteur est allumé lorsqu'il se rapproche de l'équateur et éteint lorsqu'il s'en éloigne.

7 Résultats de la simulation

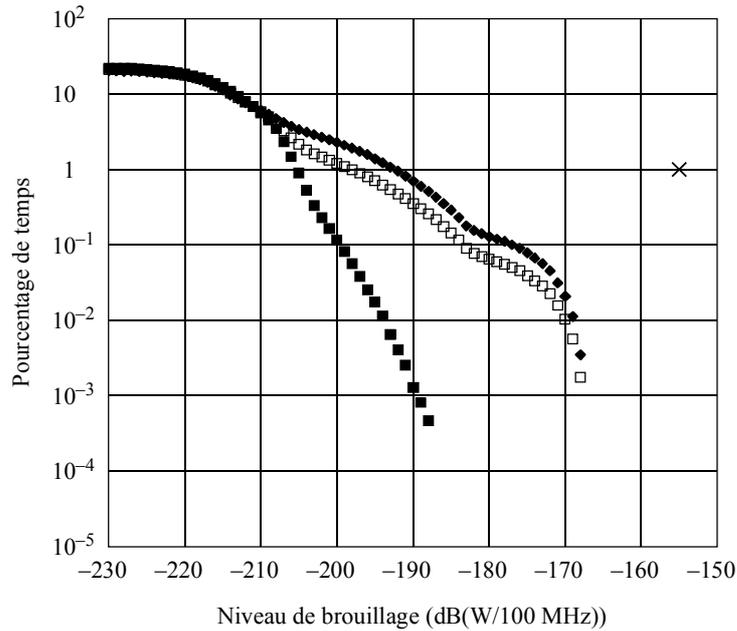
Pour ces simulations, on fait l'hypothèse d'un seul satellite du SFS en HEO et d'une seule station terrienne du SFS. Les systèmes à satellites en HEO sont généralement utilisés pour communiquer avec des stations terriennes situées sur des latitudes élevées ou moyennes. Pour cette raison, on a retenu 40 °N comme latitude pour la station terrienne. La longitude retenue pour la station terrienne est égale à la longitude de l'apogée de l'orbite HEO.

7.1 Brouilleur en HEO sur une période de 8 h

Les distributions cumulatives de brouillage pour un brouilleur en HEO sur une période de 8 h sont représentées aux Fig. 14, 15 et 16. Le pourcentage de temps est normalisé sur la durée pendant laquelle le détecteur est allumé. Les courbes illustrent le pourcentage de temps pendant lequel le niveau de brouillage dépasse la valeur de l'abscisse.

FIGURE 14

Pourcentage de temps pendant lequel le brouillage dépasse la valeur de l'abscisse, brouilleur en HEO pendant 8 h, géométrie 1

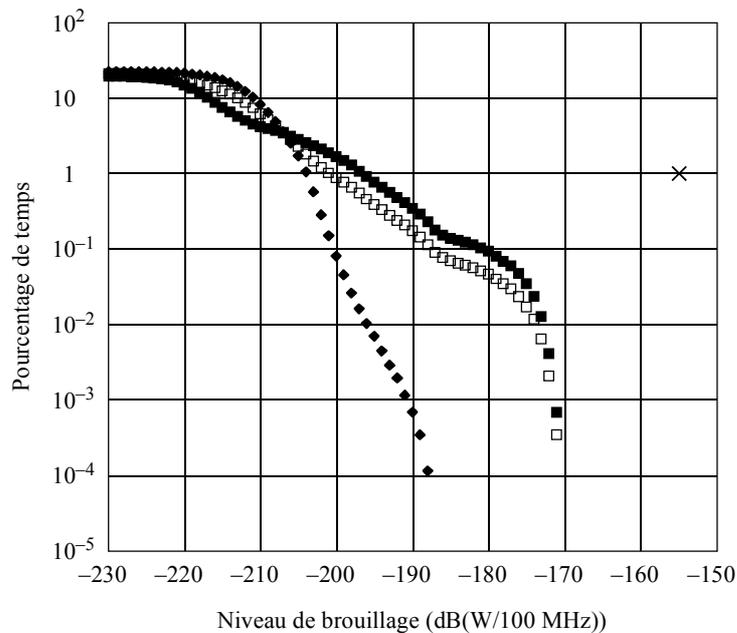


- En continu
- Rapprochement de l'équateur
- ◆ Eloignement de l'équateur
- × Critère

1449-14

FIGURE 15

Pourcentage de temps pendant lequel le brouillage dépasse la valeur de l'abscisse, brouilleur en HEO pendant 8 h, géométrie 2

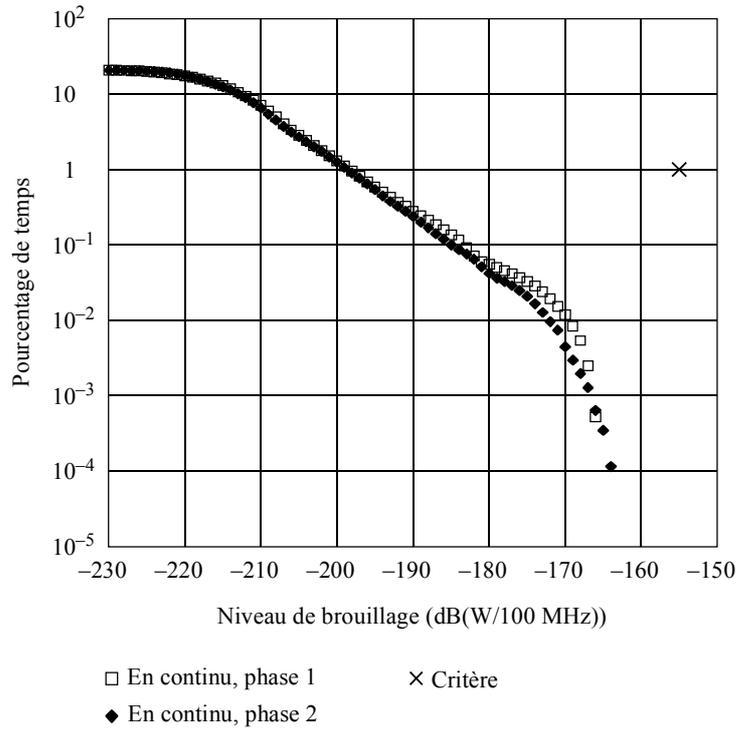


- En continu
- Rapprochement de l'équateur
- ◆ Eloignement de l'équateur
- × Critère

1449-15

FIGURE 16

Pourcentage de temps pendant lequel le brouillage dépasse la valeur de l'abscisse, brouilleur en HEO pendant 8 h, géométrie 3

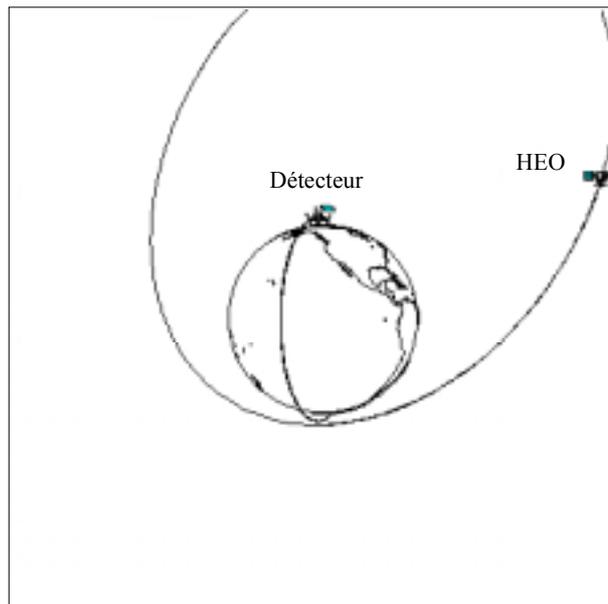


1449-16

Dans la géométrie 1 (Fig. 14) et la géométrie 2 (Fig. 15), le plan orbital du détecteur passif passe par l'apogée de l'orbite du brouilleur. Dans la géométrie 1, le détecteur passif s'éloigne de l'équateur au moment où il passe sous l'apogée de l'orbite HEO. Dans la géométrie 2, il se rapproche de l'équateur. Les géométries 1 et 2 sont illustrées à la Fig. 17.

FIGURE 17

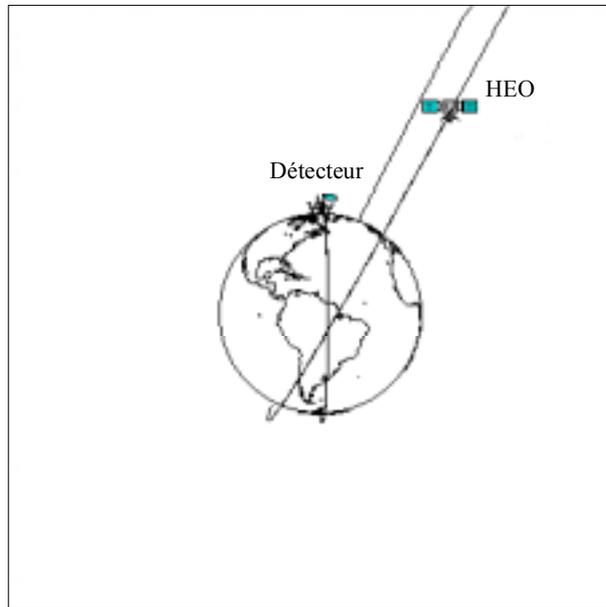
Brouilleur en HEO, géométries 1 et 2



1449-17

Dans la géométrie 3 (Fig. 16), le plan orbital du détecteur passif est à 90° de son orientation dans les géométries 1 et 2. La géométrie 3 présente deux phases. Dans la Phase 1, le noeud ascendant du détecteur passif est situé à l'ouest du sommet de l'orbite HEO. Dans la Phase 2, il est situé à l'est de ce sommet. La géométrie 3 est illustrée à la Fig. 18.

FIGURE 18
Brouilleur en HEO, géométrie 3



1449-18

Dans la Fig. 14, qui illustre le cas rapprochement de l'équateur, le détecteur ne voit pas la station terrienne du SFS lorsqu'elle est illuminée et reçoit donc un brouillage nettement moindre. Ce phénomène se présente également dans la Fig. 15 pour le cas éloignement de l'équateur.

7.2 Brouilleur en HEO sur une période de 12 h

Les distributions cumulatives de brouillage pour un brouilleur en HEO sur une période de 12 h sont représentées aux Fig. 19, 20 et 21. L'orbite HEO de 12 h est souvent désignée par le nom d'orbite Molniya.

Notez que dans la Fig. 20, les discontinuités des trois courbes dans le niveau de brouillage = -187 dB(W/100 MHz) sont imputables à la structure du lobe latéral du diagramme d'antenne du satellite du SFS (Recommandation UIT-R S.672).

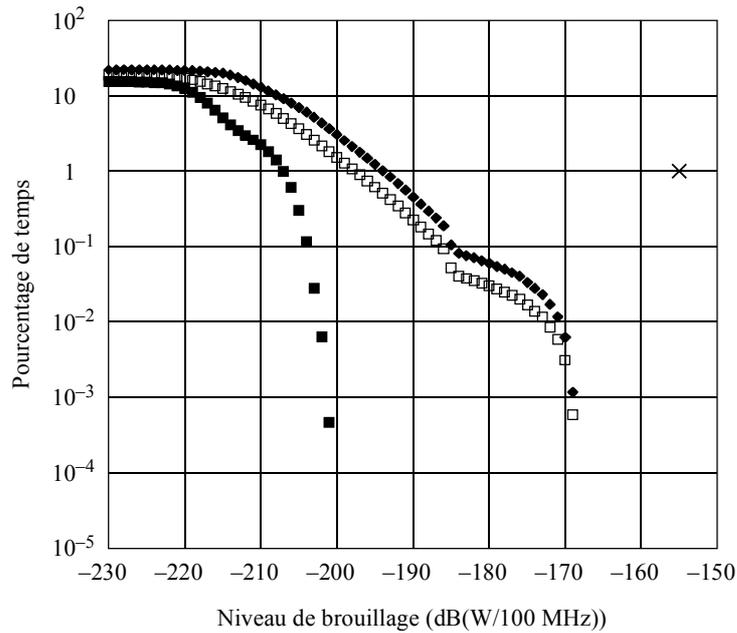
7.3 Brouilleur en HEO sur une période de 24 h

Les distributions cumulatives de brouillage pour un brouilleur en HEO sur une période de 24 h sont représentées aux Fig. 22, 23 et 24. L'orbite HEO de 24 h est souvent désignée par le nom d'orbite Tundra.

Le niveau de brouillage provoqué par les systèmes en HEO dépend évidemment beaucoup de leur configuration orbitale respective. Si l'on utilise les cas les plus défavorables des situations décrites sur les Fig. 22, 23 et 24, on dispose d'une limite maximale des niveaux de brouillage quelle que soit la géométrie.

FIGURE 19

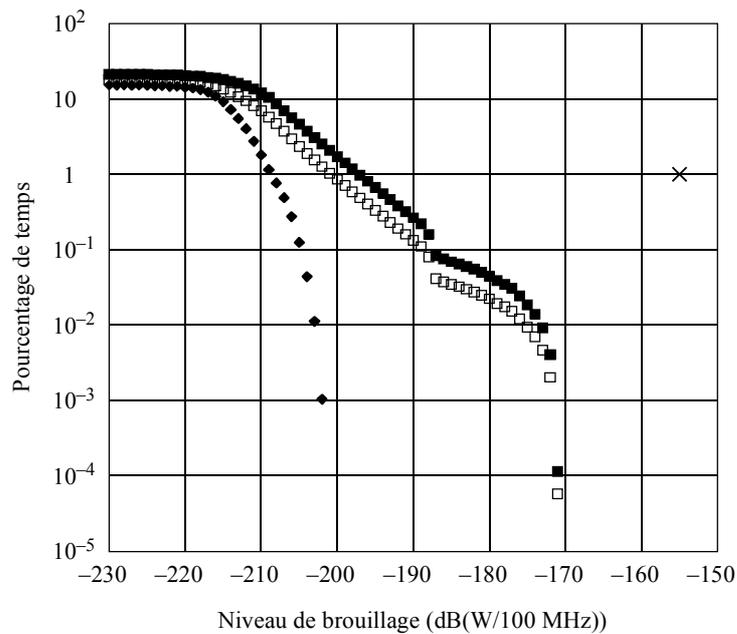
Pourcentage de temps pendant lequel le brouillage dépasse la valeur de l'abscisse, brouilleur en HEO pendant 12 h, géométrie 1



1449-19

FIGURE 20

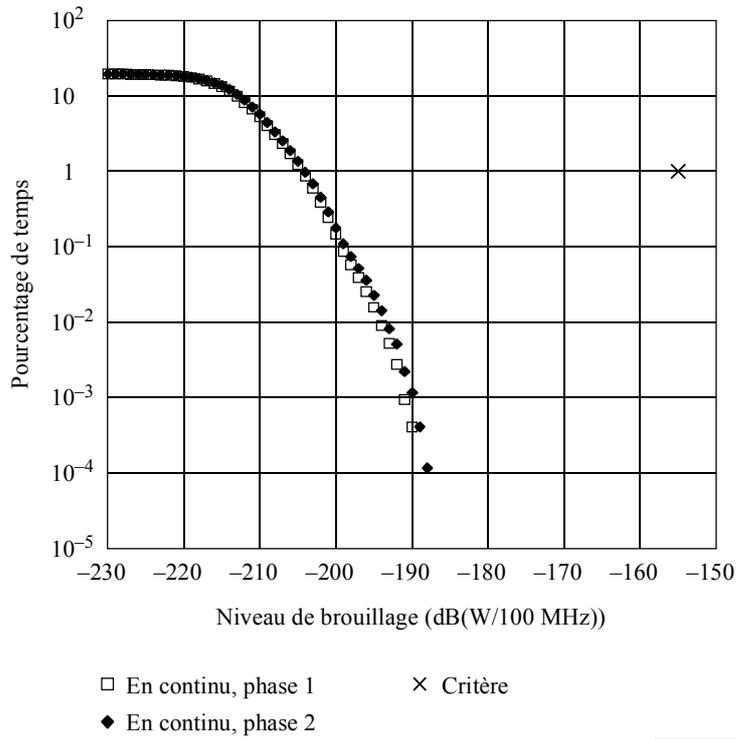
Pourcentage de temps pendant lequel le brouillage dépasse la valeur de l'abscisse brouilleur en HEO pendant 12 h, géométrie 2



1449-20

FIGURE 21

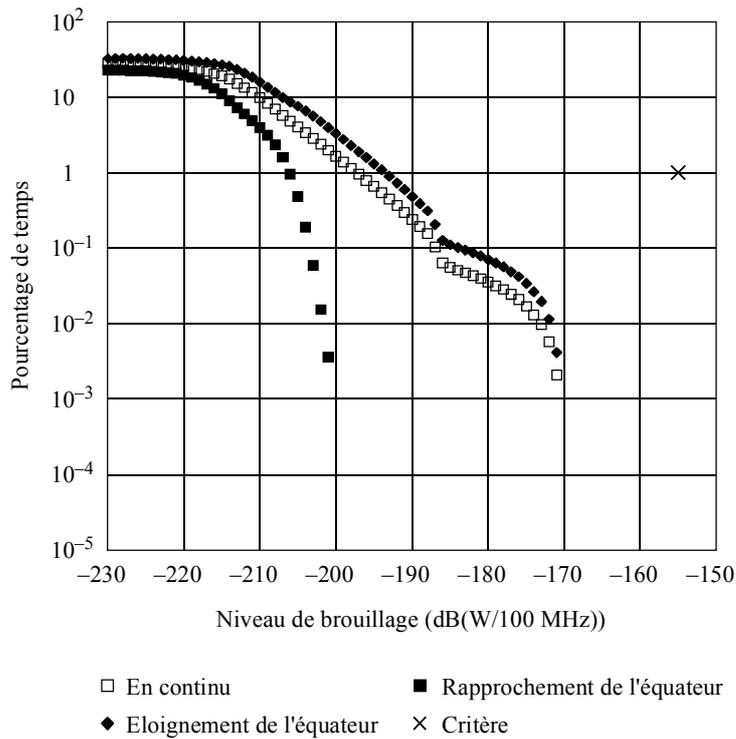
Pourcentage de temps pendant lequel le brouillage dépasse la valeur de l'abscisse, brouilleur en HEO pendant 12 h, géométrie 3



1449-21

FIGURE 22

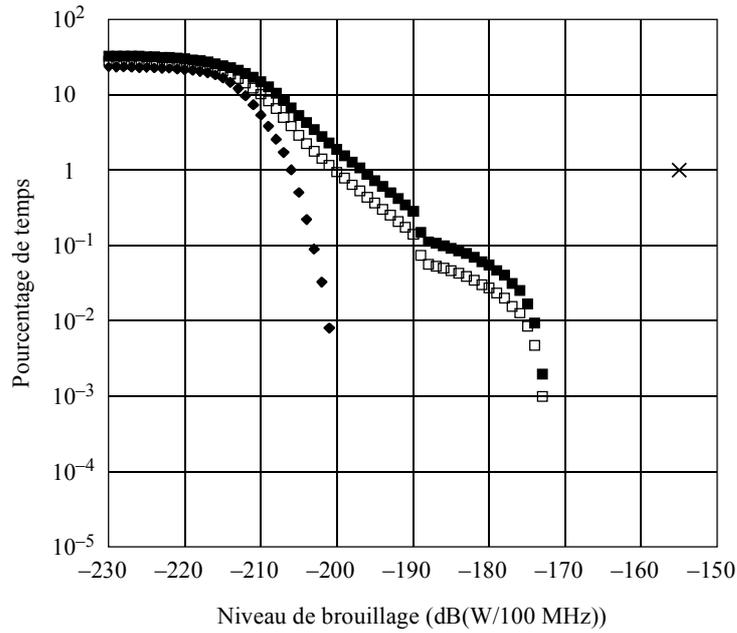
Pourcentage de temps pendant lequel le brouillage dépasse la valeur de l'abscisse, brouilleur en HEO pendant 24 h, géométrie 1



1449-22

FIGURE 23

Pourcentage de temps pendant lequel le brouillage dépasse la valeur de l'abscisse, brouilleur en HEO pendant 24 h, géométrie 2

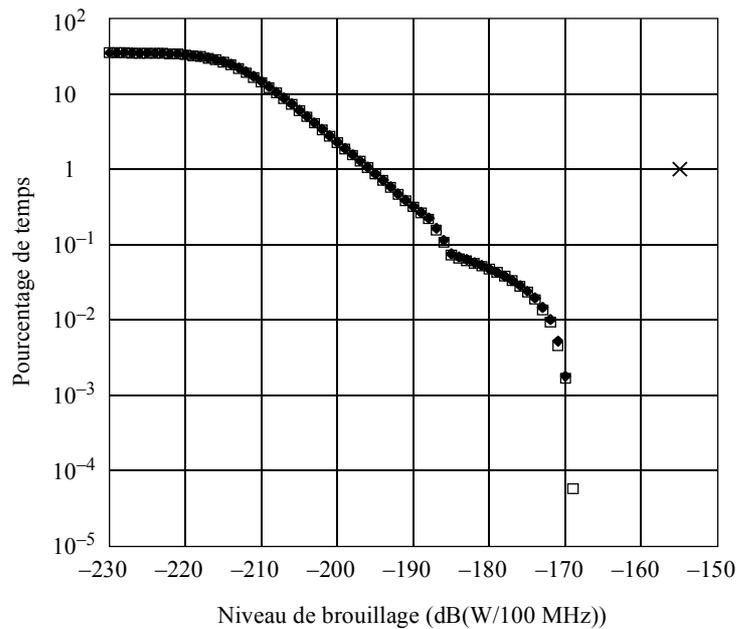


- En continu
- Rapprochement de l'équateur
- ◆ Eloignement de l'équateur
- × Critère

1449-23

FIGURE 24

Pourcentage du temps pendant lequel le brouillage dépasse la valeur de l'abscisse, brouilleur en HEO pendant 24 h, géométrie 3



- En continu, phase 1
- ◆ En continu, phase 2
- × Critère

1449-24

7.4 Interpolation des résultats

Tous les résultats présentés dans la présente Annexe sont basés sur le cas d'un satellite unique du SFS brouillant un détecteur passif. Ces résultats peuvent être extrapolés vers des situations comportant plusieurs satellites brouilleurs identiques dans les deux cas précis suivants. Premièrement, si la région de diffusion doit être exposée simultanément à N satellites brouilleurs, chaque événement de brouillage peut alors faire l'objet d'une augmentation de puissance pouvant atteindre $10 \log(N)$ dB. L'augmentation de puissance est généralement inférieure à $10 \log(N)$ dB, puisque ni les satellites brouilleurs ni les stations terriennes associées ne sont situés au même endroit. Ce point peut être illustré sur les diagrammes de brouillage en déplaçant les courbes vers la droite de $10 \log(N)$ dB.

Deuxièmement, s'il y a N satellites brouilleurs mais que le détecteur passif n'est exposé qu'à un seul signal brouilleur à la fois, alors le pourcentage de temps correspondant à chaque niveau de brouillage peut être multiplié par N . Ce point peut être illustré sur les diagrammes de brouillage en déplaçant les courbes vers le haut (verticalement) d'un facteur N .

Enfin, bien entendu, pour un satellite brouilleur unique avec un niveau de puissance différent de celui retenu pour les simulations, les courbes de brouillage peuvent être décalées vers la droite ou vers la gauche de la valeur appropriée. Plus précisément, pour une puissance surfacique maximale de -95 dB(W/(m² · 200 MHz)) les courbes de brouillage peuvent être décalées vers la droite de 5,9 dB. Cette opération s'appuie sur les paramètres de liaison illustrés au Tableau 5. Ces techniques d'extrapolation peuvent être utilisées pour évaluer de manière approximative un grand nombre de scénarios de satellites.

8 Conclusions

On constate que dans aucun des cas satellite unique, faisceau unique simulés, le critère de brouillage du détecteur passif n'est dépassé. Toutefois, l'application de ces résultats à des systèmes complexes exige d'extrapoler les résultats conformément aux indications données dans la section précédente. Ceci implique de décaler les courbes vers la droite et vers le haut de quantités qui dépendent de la complexité du système.

La détermination exacte des statistiques de brouillage de systèmes multi-satellites, multi-faisceaux nécessite d'effectuer des simulations plus complexes. On peut néanmoins conclure qu'en règle générale un système en HEO, multi-satellite et complexe, conserverait une marge de sécurité de puissance significative et que la technique de réduction proposée ne produit qu'une modification faible du brouillage émis par des systèmes du SFS en HEO avec des stations terriennes situées à des latitudes moyennes.
