

RECOMMANDATION UIT-R SF.1320

**VALEURS MAXIMALES ADMISSIBLES DE PUISSANCE SURFACIQUE PRODUITE À LA SURFACE
DE LA TERRE PAR DES SATELLITES NON GÉOSTATIONNAIRES DU SERVICE FIXE PAR
SATELLITE UTILISÉS POUR DES LIAISONS DE CONNEXION DU SERVICE MOBILE
PAR SATELLITE ET PARTAGEANT CERTAINES BANDES DE FRÉQUENCES
AVEC DES FAISCEAUX HERTZIENS**

(Questions UIT-R 219/4 et UIT-R 201/9)

(1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la Conférence mondiale des radiocommunications (Genève, 1995) (CMR-95) a attribué, en partage avec le service fixe, certaines bandes de fréquences qui peuvent être utilisées dans le sens espace-Terre par les liaisons de connexion de systèmes à satellites non géostationnaires (non OSG) du service mobile par satellite (SMS);
- b) qu'en raison d'un tel partage, il est nécessaire de faire en sorte que les émissions des satellites n'occasionnent pas des brouillages inacceptables aux faisceaux hertziens;
- c) qu'il est possible de protéger les faisceaux hertziens dans des conditions satisfaisantes contre les émissions des satellites en définissant des limites adéquates de puissance surfacique produite à la surface de la Terre dans une largeur de bande de référence donnée;
- d) que, dans les bandes qui avaient été attribuées avant 1995 au service fixe par satellite (SFS) dans le sens Terre-espace, l'utilisation additionnelle des fréquences en question dans le sens espace-Terre par des liaisons de connexion de systèmes SMS non OSG ne devrait pas se traduire par une augmentation significative des brouillages causés aux faisceaux hertziens;
- e) que néanmoins, toute limite visant la puissance surfacique produite à la surface de la Terre ne doit pas se traduire par des contraintes excessives dans la conception des liaisons de connexion des systèmes SMS non OSG;
- f) que les stations terriennes de deux systèmes SMS non OSG fonctionnant dans la bande 19,3-19,6 GHz pour ce qui est de leurs liaisons de connexion dans le sens espace-Terre et/ou dans le sens Terre-espace, ne peuvent pas être localisées au même point même dans le cas d'un fonctionnement en polarisations opposées, du fait que la disponibilité recherchée sur ce type de liaison implique une marge de liaison importante;
- g) que tout système SMS non OSG fonctionnant dans la bande 19,3-19,6 GHz doit faire intervenir des faisceaux ponctuels, de telle sorte que les valeurs de rapport G/T et de p.i.r.e. recherchées soient respectées, et qu'en conséquence la probabilité de captage d'un brouillage significatif, émanant de plusieurs systèmes de liaison de connexion SMS non OSG, par un récepteur du service fixe, est très faible,

considérant en outre

- a) qu'aux termes de la Résolution 119 (CMR-95), l'UIT-R est chargé d'étudier les éventuelles modifications que l'on pourrait apporter aux limites de puissance surfacique produite à la surface de la Terre, dans la bande 19,3-19,6 GHz, par les liaisons de connexion de réseaux à satellites non OSG du SMS, compte tenu de la diversité des régimes hydrométéorologiques que l'on observe dans le monde;
- b) qu'aux termes du numéro S21.16.7 du Règlement des radiocommunications (RR), les limites de puissance surfacique, dans la bande 6 700-6 825 MHz, doivent être réexaminées par l'UIT-R,

recommande

1 de faire en sorte que, dans les bandes de fréquences comprises entre 6,7 et 19,6 GHz et partagées entre les liaisons de connexion des systèmes SMS non OSG et les faisceaux hertziens, les valeurs maximales de puissance surfacique (Note 1) produite à la surface de la Terre par les émissions d'un satellite, indépendamment des conditions et des méthodes de modulation, ne dépassent pas les valeurs suivantes:

1.1 dans la bande 6 700-6 825 MHz, dans une bande quelconque de 1 MHz:

-137	dB(W/m ²)	pour	$\theta \leq 5^\circ$
$-137 + 0,5 (\theta - 5)$	dB(W/m ²)	pour	$5^\circ < \theta \leq 25^\circ$
-127	dB(W/m ²)	pour	$25^\circ < \theta \leq 90^\circ$

1.2 dans la bande 6 825-7 075 MHz:

1.2.1 dans une bande quelconque de 4 kHz:

-154 dB(W/m²) pour $\theta \leq 5^\circ$

-154 + 0,5 ($\theta - 5$) dB(W/m²) pour $5^\circ < \theta \leq 25^\circ$

-144 dB(W/m²) pour $25^\circ < \theta \leq 90^\circ$

1.2.2 et dans une bande quelconque de 1 MHz:

-134 dB(W/m²) pour $\theta \leq 5^\circ$

-134 + 0,5 ($\theta - 5$) dB(W/m²) pour $5^\circ < \theta \leq 25^\circ$

-124 dB(W/m²) pour $25^\circ < \theta \leq 90^\circ$

1.3 dans la bande 19,3-19,6 GHz, dans une bande quelconque de 1 MHz:

-115 dB(W/m²) pour $\theta \leq 5^\circ$

-115 + 0,5 ($\theta - 5$) dB(W/m²) pour $5^\circ < \theta \leq 25^\circ$

-105 dB(W/m²) pour $25^\circ < \theta \leq 90^\circ$

θ étant l'angle d'arrivée de l'onde radioélectrique (degrés au-dessus du plan horizontal);

2 de veiller à ce que les limites mentionnées ci-dessus s'appliquent aux valeurs de puissance surfacique et d'angle d'arrivée que l'on obtiendrait dans des conditions de propagation en espace libre;

3 de s'appuyer sur les informations rassemblées dans l'Annexe 1 pour l'application de la présente Recommandation.

NOTE 1 – Des limites strictes applicables aux bandes de fréquences partagées sont indiquées au Tableau S21-4 de l'Article S21 du RR. L'étude de ces limites se poursuivant, les valeurs recommandées pourront être modifiées à l'avenir.

ANNEXE 1

Brouillages occasionnés par des satellites de liaison de connexion SMS non OSG à des stations du service fixe

1 Précisions sur les brouillages

1.1 Configuration de brouillage maximale

On observe des valeurs de brouillage maximales lorsqu'un satellite de liaison de connexion SMS non OSG se trouve dans le faisceau principal d'une antenne de système de Terre. Si l'on suppose que l'antenne du satellite non OSG présente un diagramme de gain symétrique sur l'axe du nadir du satellite, les maxima de brouillage seront les mêmes pour tous les angles azimutaux considérés.

Pour une constellation non OSG donnée, en revanche, le pourcentage de brouillage, la durée des brouillages et l'intervalle moyen entre phénomènes de brouillage dépendront fortement de la latitude du système du service fixe et de l'azimut de la liaison du service fixe, comme nous allons le voir.

1.2 Configurations de brouillage les plus défavorables

Les configurations de brouillage les plus défavorables sont associées aux angles azimutaux auxquels correspond la probabilité maximale de dépassement d'un certain niveau de brouillage. Selon les caractéristiques de l'orbite (altitude, inclinaison) ainsi que la latitude et l'élévation de la station du service fixe, il existe de un à quatre azimuts correspondant

aux conditions les plus défavorables. Plus l'angle géocentrique entre la station du service fixe et le satellite est petit, plus l'angle hors axe est élevé et donc meilleure est la discrimination antibrouillage. Par ailleurs, la plupart des stations ne pointent pas vers les azimuts les plus défavorables, et pour certains azimuts, le satellite n'apparaît pas dans le faisceau principal de la station du service fixe.

Considérons une configuration comportant un réseau hertzien hypothétique du service fixe de 12 bonds et une constellation du SMS (12 satellites/3 plans/inclinaison de 47,5°/altitude de 10 000 km); le scénario le plus défavorable se caractériserait alors comme suit:

- nombre maximal de satellites simultanément visibles par l'une quelconque des stations du service fixe: cinq;
- aucune station de Terre considérée individuellement ne capterait, dans son faisceau principal, des signaux brouilleurs provenant de plus d'un satellite en un instant donné, et toute liaison d'un système à bonds multiples de 1 000 km ne capterait probablement pas dans son faisceau principal de brouillages provenant de plus d'un satellite en un instant donné;
- lorsqu'un satellite provoque un brouillage dans le faisceau principal d'une station de faisceau hertzien donnée, le même satellite occasionne des brouillages dans les lobes latéraux des autres stations, et ce phénomène tient d'une part:
 - à la différence des angles d'azimuts et des angles d'élévation,
 - à la courbure de la Terre;
- la probabilité d'apparition simultanée de signaux brouilleurs dans les faisceaux principaux de deux stations du même faisceau hertzien correspond au cas le plus défavorable du scénario hypothétique à 12 bonds;
- dans le cas le plus défavorable, les mêmes fréquences ne peuvent être exploitées que sur des bonds alternés.

2 Méthode de calcul de la dégradation relative de la qualité de fonctionnement (FDP)

2.1 Systèmes du service fixe sans diversité

L'Annexe 2 à la Recommandation UIT-R F.1108 expose une méthode de calcul de la FDP dans le cas de systèmes du service fixe sans diversité. Il s'agit d'établir une relation entre la fraction du temps f_i pendant laquelle un récepteur numérique du service fixe subit un certain niveau de brouillage I_i et une augmentation (%) de l'interruption du service, qui est une forme d'expression de la FDP.

L'équation s'écrit:

$$FDP = \sum \frac{I_i f_i}{N_T} \quad (1)$$

N_T étant le bruit thermique du système du service fixe (la sommation est effectuée sur la totalité de la période de simulation).

Dans le cas de systèmes sans diversité et en présence d'évanouissements de Rayleigh, le temps d'interruption est inversement proportionnel à la marge d'évanouissement. Du fait que cette dernière est elle-même inversement proportionnelle au bruit total (bruit plus brouillage), l'interruption est directement proportionnelle au bruit total, si bien que l'augmentation du bruit total occasionnée par le phénomène de brouillage est proportionnelle à un allongement de l'interruption ou à une dégradation de la qualité de fonctionnement, ce qu'exprime d'ailleurs l'équation (1).

2.2 Systèmes du service fixe avec diversité

Dans le cas d'un système du service fixe avec diversité et en présence d'évanouissements de Rayleigh, le temps d'interruption est inversement proportionnel au carré de la marge d'évanouissement, de sorte que l'allongement de l'interruption est proportionnel au carré de l'accroissement du bruit total.

Dans le cas de systèmes à diversité, l'expression de la FDP devient:

$$FDP = \sum [(1 + I_i / N_T)^2 - 1] f_i \quad (2)$$

$$= \sum f_i \left[2 I_i / N_T + (I_i / N_T)^2 \right] \quad (3)$$

Dans le cas de systèmes à diversité avec commutation, ces équations suffisent pour caractériser la FDP. Mais dans le cas de systèmes avec diversité à optimisation de puissance par combinaison, on peut aller plus loin en considérant le cas dans lequel les signaux brouilleurs parviennent aux deux antennes avec une différence de phase φ entre les deux composantes I_i , cas que représente l'approximation suivante:

$$I_i / N_T = 2(I_{oi} / N_T) \cos^2(\varphi / 2) \quad (4)$$

dans laquelle I_{oi} représente la puissance du signal brouilleur au niveau de chaque antenne. Cette équation montre que le niveau du brouillage total est fonction de φ . On peut évaluer comme suit l'incidence moyenne du brouillage:

$$\begin{aligned} (I_i / N_T)_{av} &= 1/2\pi (I_{oi} / N_T) \int_0^{2\pi} 2 \cos^2(\varphi / 2) d\varphi \\ &= I_{oi} / N_T \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} (I_i / N_T)_{av}^2 &= 1/2\pi (I_{oi} / N_T)^2 \int_0^{2\pi} 4 \cos^4(\varphi / 2) d\varphi \\ &= 3/2 (I_{oi} / N_T)^2 \end{aligned} \quad (6)$$

L'équation (5) montre que la valeur moyenne (av) du rapport I_i / N_T est la même que celle de I_{oi} / N_T , tandis que l'équation (6) montre que la valeur moyenne de $(I_i / N_T)^2$ est égale à 1,5 fois $(I_{oi} / N_T)^2$. En conséquence, on peut réécrire l'équation (3) comme suit:

$$FDP = \sum f_i \left[(2I_{oi} / N_T) + 3/2 (I_{oi} / N_T)^2 \right] \quad (7)$$

Toutefois, dans les analyses qui suivent, seule l'équation (3) a été utilisée pour modéliser la diversité.

2.3 Critères de brouillage applicables au service fixe

La Recommandation UIT-R F.1094 préconise un critère de dégradation de la qualité de fonctionnement équivalant à 10% pour les services partagés à titre coprimaire. La Recommandation UIT-R SF.357 spécifie des critères applicables aux brouillages causés sur des trajets hertziens analogiques. La Recommandation UIT-R SF.1005 recommande, pour les bandes partagées et attribuées dans les deux sens au SFS (OSG seulement), de durcir les critères de brouillage pertinents à raison de:

10-15,4 GHz	: 7 dB
15,4-20 GHz	: 5 dB
Au-dessus de 20 GHz	: 3 dB

La Recommandation UIT-R SF.1005 ne s'applique pas aux bandes de fréquences situées au-dessous de 10 GHz en raison de ce que la plupart des bandes définies au-dessous de cette valeur sont fortement utilisées par le service fixe, de sorte qu'un fonctionnement en bandes inversées n'y est généralement pas envisageable. Alors que la Recommandation UIT-R SF.1005 ne traite que des systèmes géostationnaires du SFS, on admet que des concepts analogues s'appliqueraient aux systèmes non OSG de ce service.

Dans les bandes du SFS attribuées, et fortement utilisées, dans les deux sens, on admet qu'un durcissement de 10% du critère de FDP serait indispensable pour ce qui est des brouillages occasionnés par des liaisons de connexion SMS non OSG fonctionnant en bandes inversées.

3 Possibilités de partage

A partir des caractéristiques des diverses constellations de satellites considérées, on a procédé à des simulations informatiques pour déterminer les possibilités de partage de fréquences avec les faisceaux hertziens. Dans tous les cas examinés, il est apparu que les constellations de satellites peuvent partager certaines fréquences avec la quasi-totalité des faisceaux hertziens analogiques et numériques. Cette conclusion est fondée sur une évaluation des brouillages occasionnés par des constellations de satellites à une station du service fixe.

4 Application de la Recommandation UIT-R SF.358

On démontre que les limites de puissance surfacique spécifiées dans la Recommandation UIT-R SF.358 peuvent se traduire, pour les récepteurs de faisceaux hertziens, par des niveaux de brouillage, occasionnés par des satellites OSG, supérieurs au bruit. Toutefois, l'application de certaines mesures (par exemple, on peut pointer le faisceau hertzien avec un décalage de plusieurs degrés par rapport à OSG permet d'améliorer la situation et donc de faciliter le partage service fixe/SFS OSG.

Par ailleurs, dans le cas de système SMS non OSG, le partage avec le service fixe peut être envisagé même avec une limite de puissance surfacique telle qu'en fait les brouillages subis sont supérieurs au bruit thermique pendant de brèves périodes, puisque le récepteur qui capte ce signal brouilleur de niveau élevé n'est en général pas simultanément affecté par un phénomène d'évanouissement. En conséquence, même lorsqu'il n'est pas possible d'éviter un tel brouillage dans l'axe, le critère de FDP de 10% ou toute valeur inférieure, peut encore être respecté. La Recommandation UIT-R F.1108 semble donc offrir une approche plus appropriée.

5 Possibilité d'application des limites de puissance surfacique de la Recommandation UIT-R SF.358

Dans le présent paragraphe, nous traiterons du bien-fondé de l'application des limites de puissance surfacique définies dans la Recommandation UIT-R SF.358 à un satellite SMS non OSG. On procède tout d'abord aux simulations avec un gabarit de puissance surfacique coïncidant avec les limites de puissance surfacique définies dans cette Recommandation (ou les plus proches valeurs disponibles). On étudie ensuite les possibilités d'appliquer ce masque de puissance surfacique pour protéger les systèmes du service fixe dans différentes bandes de fréquences, par référence aux critères de protection mentionnés au § 2.3. On calcule alors différentes valeurs de puissance surfacique, et l'on examine certaines des hypothèses utilisées pour établir des valeurs de puissance surfacique à partir d'un calcul de FDP, ainsi que les propriétés physiques applicables en l'occurrence, afin d'établir la sensibilité de ces valeurs. Il reste enfin à proposer des limites de puissance surfacique révisées, pour incorporation dans le corps du texte de la présente Recommandation.

5.1 Limites de puissance surfacique

Les limites de puissance surfacique utilisées dans notre analyse sont indiquées ci-après (voir la Recommandation UIT-R SF.358):

7 GHz: $-152/-142$ dB(W/m² dans 4 kHz)

19 GHz: $-115/-105$ dB(W/m² dans 1 MHz)

5.2 Etudes de partage, 7 GHz

La FDP de la station du service fixe (SF) est déterminée, mais le brouillage occasionné par le satellite est calculé à partir d'un gabarit de puissance surfacique (pfd). Pour chaque cas, on calcule l'angle d'arrivée pour chaque satellite visible et on détermine la puissance surfacique correspondante. On calcule ensuite la puissance des signaux brouilleurs émanant de chaque satellite comme suit:

$$I_t = pfd + 10 \log (\lambda^2/4\pi) + G_{SF} - \text{affaiblissement sur la liaison de connexion}$$

5.2.1 Hypothèses de travail, 7 GHz

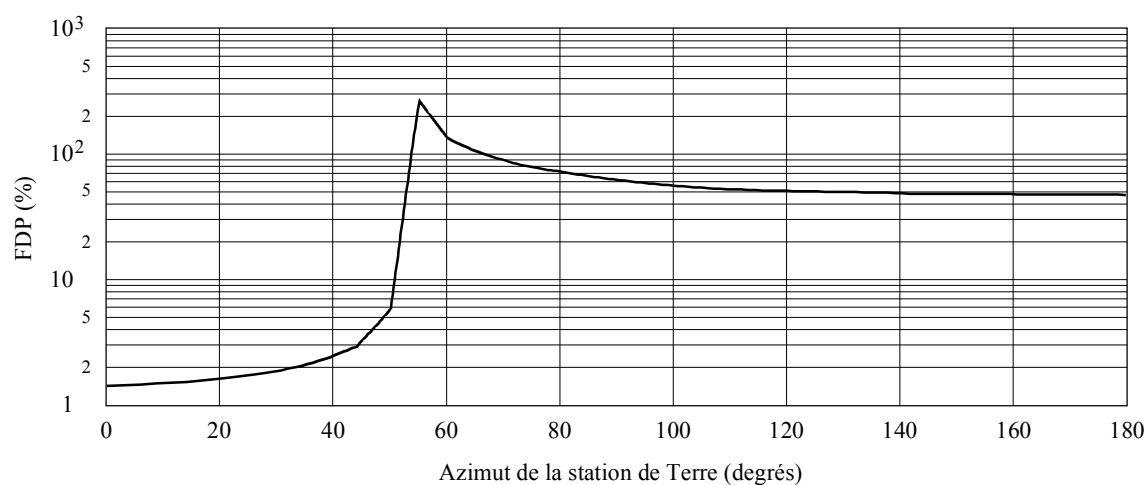
- Le diagramme de rayonnement de l'antenne du système du service fixe est extrait de la Recommandation UIT-R F.699-3 (Genève, 1995). On applique la Note 6 de cette Recommandation.
- On ne tient compte d'aucun affaiblissement atmosphérique.
- On suppose que l'angle d'élévation du système du service fixe est de 3°.
- On ne tient compte d'aucune discrimination de polarisation.
- On suppose que les systèmes du service fixe sont des systèmes à diversité.
- On considère par hypothèse les constellations de satellites suivantes:
 - LEO D: 48 satellites/8 plans/inclinaison: 52°/altitude: 1 414 km
 - LEO F: 10 satellites/2 plans/inclinaison: 45°/altitude: 10 355 km.

5.2.2 Résultats, 7 GHz

Les Fig. 1 et 2 illustrent la FDP due aux deux constellations SMS non OSG (LEO D et LEO F) (on suppose que ces constellations de satellites produisent à la surface de la Terre une puissance surfacique correspondant aux valeurs dont il est question plus haut, et que la station du service fixe est située à 40° de latitude).

FIGURE 1

FDP due au système LEO D; station de service fixe: 40° N

7 GHz; puissance surfacique = $-152/-142$ dB(W/m² dans 4 kHz)

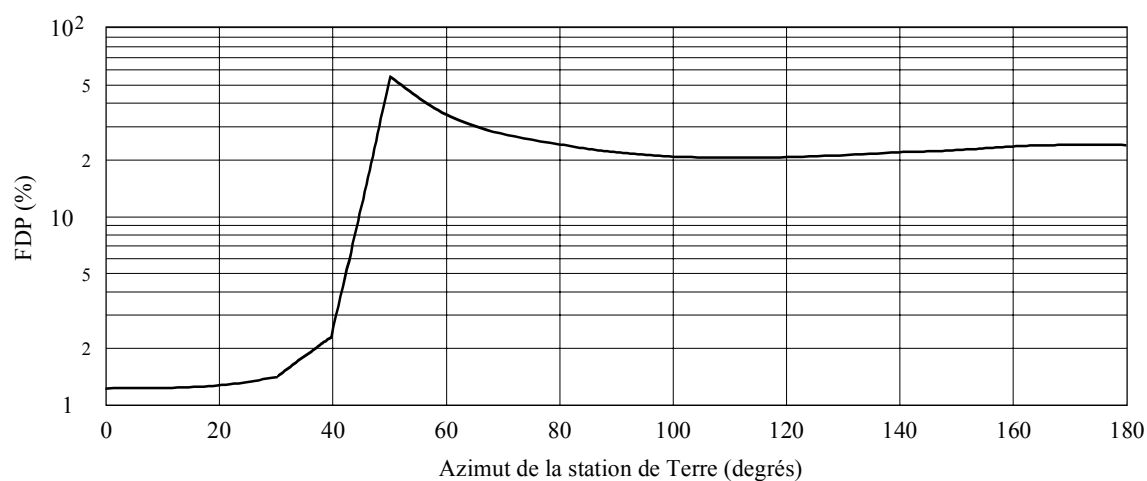
Le brouillage est calculé sur la base des limites de puissance surfacique spécifiées dans la Recommandation UIT-R SF.358.

LEO D: 48 satellites/8 plans/inclinaison de 52°/altitude de 1 414 km

1320-01

FIGURE 2

FDP due au système LEO F; station de service fixe: 40° N

7 GHz; puissance surfacique = $-152/-142$ dB(W/m² dans 4 kHz)

Le brouillage est calculé sur la base des limites de puissance surfacique spécifiées dans la Recommandation UIT-R SF.358.

LEO F: 10 satellites/2 plans/inclinaison de 45°/altitude de 10 355 km

1320-02

En ce qui concerne ces figures, on peut faire les observations suivantes:

- les limites de puissance surfacique actuelles, à 7 GHz, de la Recommandation UIT-R SF.358 ne suffisent pas pour protéger les systèmes du service fixe à diversité (qui correspondent aux configurations classiques). Toutefois, ces limites suffiraient à protéger des services du service fixe sans diversité;
- on peut observer une large gamme de valeurs de FDP pour toute constellation et pour toute bande de fréquences, en particulier dans le cas d'orbites à inclinaison très inférieure à 90°.

5.2.3 Limites de puissance surfacique applicables aux liaisons de connexion SMS non OSG

Nous proposerons, dans le présent paragraphe, des limites de puissance surfacique susceptibles de conférer une production adéquate aux systèmes du service fixe dans la majorité des cas. La méthode de calcul de ces valeurs est exposée ci-après.

A 7 GHz, si l'on suppose que les attributions faites au SFS sont bidirectionnelles, on admet qu'il faudrait durcir le critère de FDP, la valeur adéquate étant à déterminer en l'occurrence. Toutefois, comme la FDP peut fortement varier, dans une constellation donnée, en raison des différences d'azimut de pointage du système du service fixe, il semble possible de parvenir à un certain compromis entre la FDP correspondant au cas le plus défavorable et une valeur de FDP «moyenne» applicable à tous les azimuts. En d'autres termes, il ne semble pas indiqué de choisir un ensemble de valeurs de puissance surfacique tel que l'azimut le plus défavorable respecte un critère très strict (par exemple, 1%), compte tenu des importants écarts observés dans certaines constellations.

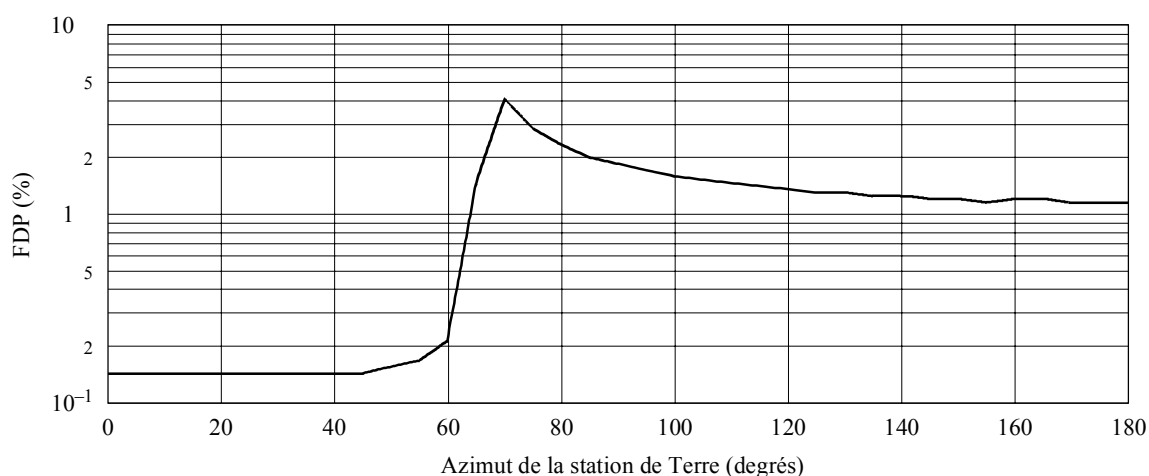
Pour amorcer la discussion et calculer de nouvelles valeurs de puissance surfacique (appelées à être utilisées comme autant de limites), on est parti d'un critère de FDP maximale de 4%, valeur qui représente un compromis entre la Recommandation UIT-R SF.1005 et les importants écarts observés. Ce choix équivaut à accroître la protection de 4 dB pour l'azimut le plus défavorable. On a utilisé la constellation LEO D pour déterminer un éventuel ensemble de limites de puissance surfacique qui ont été ensuite appliquées à l'autre type de constellation. Par approximation, on a établi que des valeurs de puissance surfacique de $-162/-152$ dB(W/m² dans 4 kHz) ne dépassaient pas le critère de 4% pris comme hypothèse de départ. L'écart de 10 dB entre la valeur haute de l'angle d'arrivée et la valeur basse est purement arbitraire, mais son effet est traité au § 5.2.4.4.

Les Fig. 3 et 4 représentent les résultats obtenus pour des constellations SMS de liaison de connexion non OSG de type LEO D et LEO F avec les valeurs de puissance surfacique suivantes à 7 GHz:

$-162/-152$ dB(W/m² dans 4 kHz) dans la bande des 7 GHz.

Ces valeurs, dûment pondérées par l'incidence des différentes hypothèses, devraient se traduire par un certain assouplissement et, au bout du compte, déboucher sur un ensemble de limites de puissance surfacique pouvant être incorporé dans la présente Recommandation.

FIGURE 3
FDP due au système LEO D; station du service fixe: 50° N

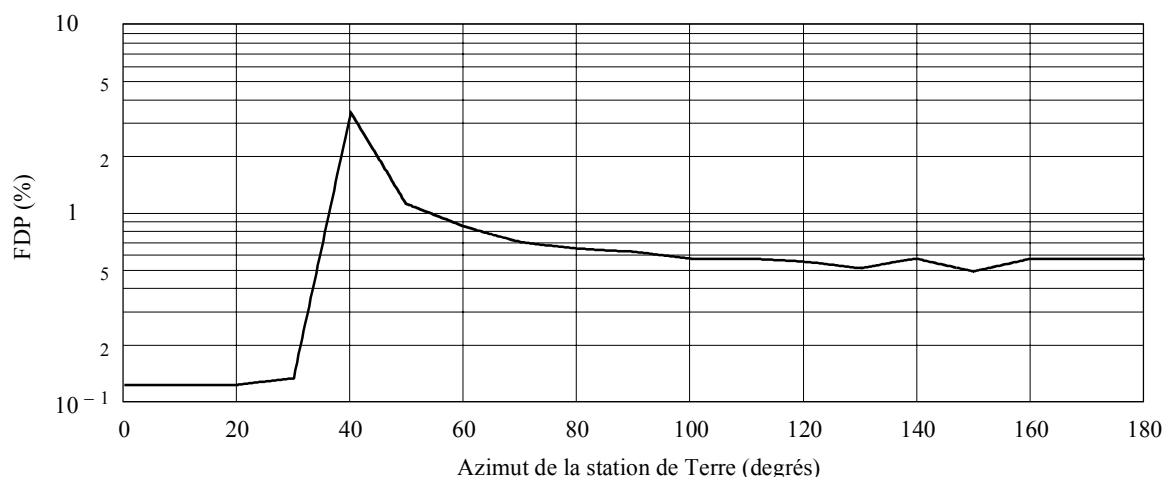


7 GHz; puissance surfacique = $-162/-152$ dB(W/m² dans 4 kHz)
LEO D: 48 satellites/8 plans/inclinaison de 52°/altitude de 1 414 km

1320-03

FIGURE 4

FDP due au système LEO F; station du service fixe: 50° N



7 GHz; puissance surfacique = $-162/-152$ dB(W/m² dans 4 kHz)
 LEO F: 10 satellites/2 plans/inclinaison de 45°/altitude de 10 355 km

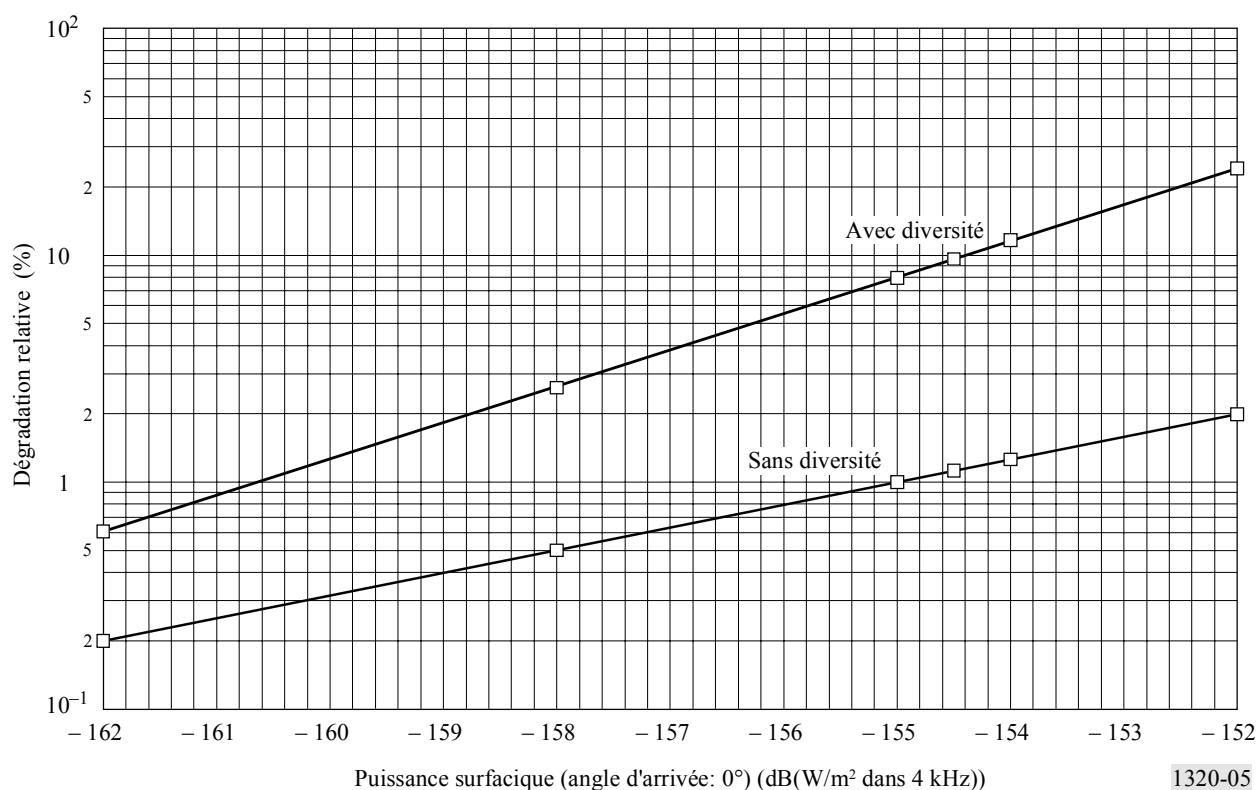
1320-04

La Fig. 5 fait apparaître les résultats obtenus dans le cadre d'une autre étude de simulation de la totalité de la constellation LEO F et des stations du service fixe, avec et sans diversité (FDP donnée par les équations (1) et (3) pour l'azimut correspondant au cas le plus défavorable). Ceci montre la valeur de crête de la FDP en fonction de la puissance surfacique, pour un angle d'arrivée de 0°).

FIGURE 5

**FDP (valeurs maximales) produite par une constellation LEO F
 au niveau d'une station du service fixe (3,7 m)**

(Latitude: 20° N, azimut le plus défavorable: 48,5°)



1320-05

5.2.4 Conséquence des hypothèses de départ

Certaines des principales hypothèses de départ étaient les suivantes:

- latitude du système du service fixe: 50° ,
- angle d'élévation du système du service fixe: 3° ,
- pas de découplage de polarisation,
- augmentation de 10 dB entre la valeur élevée et la valeur basse de l'angle d'arrivée,
- FDP maximale de 4% pour un fonctionnement en bandes inversées,
- utilisation d'un gabarit de puissance surfacique.

Il est indiqué d'étudier les effets de chacune de ces hypothèses de départ pour établir leur sensibilité aux limites de puissance surfacique établies à partir d'un calcul de FDP ou pour mesurer leur prudence relative.

5.2.4.1 Latitude du service fixe à 50°

On sait qu'il existe une valeur de latitude plus défavorable pour chaque constellation SMS non OSG. En général, le brouillage est d'autant plus intense que la latitude est haute. Par ailleurs, on relève habituellement un pic de brouillage aux latitudes voisines des valeurs les plus élevées d'une orbite non OSG.

Dans le cas d'une constellation de satellites inclinés d'environ 50° , le choix d'une valeur de latitude égale à 50° pour le système du service fixe semble adéquat et raisonnable. En conséquence, sur cette base, il n'y a pas lieu d'assouplir les niveaux indicatifs de puissance surfacique.

5.2.4.2 Angle d'élévation du système du service fixe

La valeur d'angle d'élévation utilisée ici pour le service fixe était de 3° . Une fois encore, cette hypothèse apparaît raisonnable puisque les stations du service fixe présentent en général des angles d'élévation compris entre -1° et 3° . Il serait tentant d'adopter simplement une valeur de 1° et de parler en l'occurrence de cas type, mais une telle valeur serait en fait plus prudente qu'un angle d'élévation de 3° .

Considérons en effet la géométrie de la configuration et les caractéristiques de la fonction FDP elle-même. Le faisceau principal de l'antenne du système du service fixe forme un paraboloïde elliptique au point d'intersection de l'enveloppe orbitale. Plus l'angle d'élévation de l'antenne du système du service fixe est faible, plus le paraboloïde est important (naturellement, pour un angle d'élévation de 0° , la moitié de cette surface est coupée) et donc plus la durée de parcours du satellite est importante elle-même. La FDP est fonction à la fois du temps pendant lequel le satellite est à l'intérieur du faisceau de l'antenne du service fixe, de la discrimination de l'antenne du système du service fixe en direction du satellite en fonction du temps et de la puissance des signaux brouilleurs provenant du satellite (la FDP est donc fonction de I_f).

La FDP résulte pour beaucoup de ces phénomènes de brouillage intense et de brève durée. Il y a donc un compromis entre la dimension du paraboloïde, ou la valeur (peu élevée) de l'angle d'élévation d'une part et les effets renforcés des brouillages aux angles d'élévation élevés d'autre part.

En conséquence, la valeur d'angle d'élévation de 3° du système du service fixe prise pour hypothèse de départ semble raisonnable compte tenu du phénomène observé.

5.2.4.3 Découplage de polarisation

On observe en général que, sur les liaisons descendantes, les émissions des satellites non OSG présentent une polarisation circulaire tandis que dans la plupart des cas, les systèmes du service fixe font intervenir des signaux à polarisation linéaire. Il faut donc tenir compte d'un éventuel découplage de polarisation de 3 dB lorsque le satellite est dans le faisceau principal de l'antenne du système du service fixe, configuration la plus défavorable pour ce qui est de la FDP. Il semble donc possible de relever la limite de puissance surfacique correspondant aux petits angles d'arrivée d'une valeur pouvant atteindre 3 dB.

5.2.4.4 Extrapolation du gabarit de puissance surfacique

On prend pour hypothèse un accroissement linéaire de 10 dB de la limite de puissance surfacique lorsque l'angle d'arrivée passe de 5° à 25° .

Une augmentation de 3 dB de la limite correspondant aux angles d'arrivée importants n'a guère d'effet, indépendamment de l'azimut.

On en conclut que la FDP est très sensible aux puissances surfaciques reçues selon un angle d'arrivée peu important mais qu'en ce qui concerne les angles d'arrivée élevés, on peut probablement tolérer des augmentations de limite de l'ordre de 3 à 6 dB et donc accepter tout relèvement ne dépassant pas 4 dB. Pour définir un gabarit de puissance surfacique tenant compte du taux effectif de décroissance caractéristique de bon nombre de diagrammes de rayonnement d'antenne de satellite SMS non OSG de liaison de connexion, on peut considérer comme appropriée une augmentation comprise entre 6 et 10 dB de la limite de la puissance surfacique correspondant aux petits angles d'arrivée.

5.2.4.5 Critère de FDP pour un fonctionnement en bandes inversées

Nous avons déjà parlé plus haut d'un éventuel critère de FDP de 4%, qui équivaldrait à accroître la protection de 4 dB. En portant la limite applicable aux faibles angles d'arrivée à $-161 \text{ dB(W/m}^2 \text{ dans } 4 \text{ kHz)}$ pour la bande des 7 GHz, on obtiendrait une FDP d'environ 6%, soit une augmentation de la protection de 2,2 dB. En portant cette limite à $-160 \text{ dB(W/m}^2 \text{ dans } 4 \text{ kHz)}$, on aurait une FDP maximale de 8% (durcissement de 1 dB), ce qui n'est pas considéré comme acceptable.

Chaque constellation non OSG examinée donne des valeurs maximales de FDP pour certains azimuts, tandis que l'on observe une diminution de la FDP à d'autres azimuts. Compte tenu de ce phénomène, on pourrait accepter un assouplissement de 1 dB de la puissance surfacique correspondant aux petits angles d'arrivée.

5.2.4.6 Utilisation d'un gabarit de puissance surfacique

Par nature, un gabarit de puissance surfacique sous-estime les conditions réelles. On peut y voir un outil réglementaire ou technique valable, mais qui ne ressemble que très rarement à un véritable diagramme d'antenne de satellite. Lorsque l'on utilise un gabarit de puissance surfacique et non pas un diagramme d'antenne de satellite réel, on surestime les brouillages correspondant à la plupart des angles d'arrivée par rapport à la réalité. Du fait que ce surcroît de brouillage calculé est surtout important entre 0° et 5° et que de nombreux satellites utilisent des faisceaux à couverture globale dont la décroissance est faible dans cette enveloppe, on pourrait peut-être tolérer une augmentation de 1 à 2 dB de la puissance surfacique pour les petits angles d'arrivée.

5.2.4.7 Réseaux multiples de liaison de connexion SMS non OSG

L'UIT-R est parvenu à la conclusion que deux réseaux de liaison de connexion SMS non OSG peuvent partager des fréquences dans une configuration de couverture commune. Aucune simulation n'a été réalisée à l'appui de ce scénario, mais on considère que l'on pourrait fort bien durcir de 3 dB aussi bien les valeurs correspondant aux petits angles d'arrivée que les valeurs correspondant aux angles d'arrivée importants. Notons au passage que l'on suppose en l'occurrence que les deux réseaux de liaison de connexion SMS non OSG fonctionnent dans le même sens.

5.2.5 Résumé (7 GHz)

Il résulte de ce qui précède que divers facteurs peuvent faire varier les valeurs de puissance surfacique par rapport aux valeurs indiquées au § 5.2.3. La majorité des hypothèses de départ sont prudentes (notamment l'absence de découplage de polarisation), ce qui donne à penser qu'un assouplissement de ces valeurs de puissance surfacique est envisageable. Compte tenu des nouveaux et futurs types d'utilisation du service fixe ainsi que des futurs besoins des systèmes de liaison de connexion SMS non OSG, on pourrait parvenir à un compromis conférant une protection adéquate à la majorité des systèmes du service fixe tout en ménageant une certaine souplesse pour les futurs réseaux de liaison de connexion SMS non OSG.

On propose donc d'assouplir de 4 dB les limites de puissance surfacique calculées au § 5.2.3, avec une extrapolation de 10 dB entre les petits angles d'arrivée et les angles d'arrivée importants pour ménager un complément de souplesse aux futurs réseaux de liaison de connexion SMS non OSG. Par ailleurs, la largeur de bande de référence de 1 MHz est en général appropriée pour assurer la protection des faisceaux hertziens analogiques ou numériques. En conséquence, par exemple, la limite de $-162/-152 \text{ dB(W/m}^2 \text{ dans } 4 \text{ kHz)}$ associée à la bande des 7 GHz au § 5.2.3 peut être convertie en une limite de $-134/-124 \text{ dB(W(m}^2 \cdot \text{MHz))}$.

Une autre étude, dans laquelle aucun des éléments modérateurs décrits précédemment n'a été pris en compte, fait apparaître que les limites de gabarit de puissance surfacique citées au *recommande* 1.2.1 sont adéquates pour protéger les systèmes du service fixe.

5.3 Etudes de partage à 19 GHz

5.3.1 Caractéristiques des systèmes exploités à 19 GHz

Les caractéristiques des systèmes du service fixe et des liaisons de connexion SMS non OSG visés dans la présente étude sont exposées au Tableau 4. Les paramètres ont été repris de la Recommandation UIT-R F.758 pour ce qui est du service fixe.

5.3.1.1 Effets de l'affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère sur des trajets obliques

Au voisinage de 19 GHz, l'affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère sur des trajets obliques devient significatif. Ce phénomène est en fait une fonction complexe de divers paramètres, notamment de la fréquence, ainsi que de l'altitude de la station de Terre et de l'angle d'élévation de son antenne. Dans notre étude, il faut s'attendre à au moins quelques décibels d'affaiblissement sur trajet oblique au voisinage de 19 GHz.

Par ailleurs, en cas d'utilisation bidirectionnelle des fréquences voisines de 19 GHz, il est nécessaire de durcir les critères de partage (de quelques décibels), comme nous l'avons dit au § 2.3. Toutefois, on peut dire que ce durcissement nécessaire des critères de partage est en général annulé par le phénomène d'affaiblissement sur trajet oblique dont nous venons de parler.

5.3.1.2 Caractéristiques techniques du système à satellites LEO B

La constellation LEO B comprend 12 satellites répartis sur trois plans orbitaux inclinés de 50° par rapport au plan équatorial. Chaque satellite est placé sur une orbite circulaire à une altitude de 10 355 km. Ce système utilise les bandes 1 610-1 626,5 MHz et 2 483,5-2 500 MHz respectivement pour la liaison de retour des mobiles (utilisateur-satellite) et pour la liaison aller (satellite-utilisateur). Les bandes de fréquences 29,1-29,4 GHz et 19,3-19,6 GHz sont utilisées respectivement pour la liaison montante de connexion et la liaison descendante de connexion. La charge utile du satellite est assimilable à un simple répéteur à conversion de fréquence et guide d'ondes coudé.

Les caractéristiques orbitales de la constellation LEO B sont exposées au Tableau 1. Les Tableaux 2 et 3 indiquent les paramètres de communication du satellite et de la station terrienne.

TABLEAU 1

Caractéristiques orbitales du système LEO B

Nombre de satellites	12
Nombre de plans orbitaux	3
Nombre de satellites par plan	4
Altitude (km)	10 355
Angle d'inclinaison (degrés)	50
Période de l'orbite (h)	6

TABLEAU 2

Paramètres de communication du système LEO B

Caractéristique du satellite	Liaison de connexion
Fréquence de réception (Terre-espace) (GHz)	29,1-29,4
Largeur de bande de réception (MHz)	300
Polarisation à la réception	Circulaire lévogyre
Couverture de l'antenne	2,2° @ 3 dB
Nombre de faisceaux	3 antennes orientables
Rapport G/T à la réception (dB(K ⁻¹))	9,5 (maximal)
Fréquence d'émission (espace-Terre) (GHz)	19,3-19,6
Largeur de bande d'émission (MHz)	300
Polarisation à l'émission	Circulaire dextrogyre
Couverture de l'antenne	3,0° @ 3 dB
p.i.r.e. (dBW)	46,4

TABLEAU 3

Caractéristiques des stations terriennes du système LEO B

Paramètre	Station terrienne
Fréquence d'émission (Terre-espace) (GHz)	29,1-29,4
Largeur de bande d'émission (MHz)	300
Polarisation à l'émission	Circulaire lévogyre
p.i.r.e. à l'émission (dBW)	85,9 (maximale)
Gain de l'antenne d'émission (dBi)	64,8
Fréquence de réception (espace-Terre) (GHz)	19,3-19,6
Largeur de bande de réception (MHz)	300
Polarisation à la réception	Circulaire dextrogyre
Gain de l'antenne de réception (dBi)	60,8
Rapport G/T à la réception (dB(K ⁻¹))	32,5

TABLEAU 4

Paramètres des systèmes et limites de puissance surfacique

Système fixe		
Bande de fréquences (GHz)	17,7-19,7	
Type de système	MDP-4 D	
Capacité (Mbit/s)	44,7	
Largeur de bande par canal (MHz)	40	
Gain d'antenne (dBi)	45	
Affaiblissement d'alimentation (dB)	3	
Bruit thermique du récepteur (dBW)	−125	
Brouillage nominal à long terme (dBW)	−131	
Liaison de connexion SMS non OSG		
Type de système	LEO A	LEO F
Fréquence de liaison descendante (GHz)	19,4-19,6	20
Type de modulation	AMRF/MDP-4	AMRT/MDP-4
Altitude de l'orbite (km)	780	10 355
Angle d'inclinaison (degrés)	86	50
Nombre de satellites	66	12
Angle d'exploitation minimal (degrés)	8	5

5.3.1.3 Calcul des critères de brouillage acceptable

Pour définir des critères de brouillage acceptable, il faut calculer une valeur de puissance de brouillage admissible, que l'on peut déterminer comme suit à partir de l'équation (4) de la Recommandation UIT-R SF.1006:

$$P_r(p_2/n_2) = 10 \log(k T_r B + 10 \log(10^{M_s/10} - 1)) + N_L - W \quad \text{dBW}$$

Les paramètres de cette équation sont définis dans la Recommandation UIT-R SF.1006.

On peut également se reporter à la Recommandation UIT-R SF.1005, qui traite du partage entre le service fixe et le SFS dans les bandes attribuées dans les deux sens. Selon cette Recommandation, les critères de brouillage admissible maximaux, à long terme comme à court terme, devraient être plus rigoureux que les critères établis d'après la

Recommandation UIT-R SF.1006 de 5 dB pour les bandes de fréquences comprises entre 15,4 et 20,0 GHz. La Recommandation UIT-R SF.1005 ne définit pas explicitement le type de satellite considéré (non OSG ou OSG), mais il demeure que ce concept est également applicable aux systèmes non OSG du SMS.

Le Tableau 5 indique les paramètres utilisés dans le calcul du niveau de brouillage seuil.

TABLEAU 5

Paramètres requis pour la détermination du niveau de brouillage acceptable dans le cas d'une station réceptrice numérique fixe

Gamme de fréquences (GHz)		15-40
Service dont relève le système brouilleur		SFS
p_2 (%)		0,005
n_2		1
B (Hz)		10^6
J (dB)		0
W (dB)		0
M_s (dB)		25
N_L (dB)		0
Puissance maximale de brouillage admissible ⁽¹⁾ (dBW)	P_r (0,005%)	-116
		-121 ⁽²⁾
	P_r (20%) ⁽³⁾	-147
		-152 ⁽²⁾

- (1) Les niveaux maximaux admissibles de puissance brouilleuse sont calculés à partir du niveau effectif de bruit thermique du système du service fixe considéré dans la présente étude.
- (2) Cette valeur s'applique à une bande de fréquences à utilisation bidirectionnelle.
- (3) Les critères de brouillage à long terme ont été définis à partir du Tableau 4.

5.3.1.4 Calcul du niveau de brouillage occasionné dans le service fixe

On a défini un programme informatique permettant de calculer les brouillages occasionnés par des satellites non OSG à une station de Terre. La position du satellite est déterminée sur la base des paramètres de l'orbite avec une incrémentation temporelle de respectivement 2 et 30 s pour le système LEO A et le système LEO F. Lorsque le satellite est visible par le système du service fixe, on calcule le brouillage à partir des limites de puissance surfacique et de l'équation suivante:

$$I_t = pfd + 10 \log (\lambda^2/4\pi) + G_{SF} - L_{atm} - \text{affaiblissement sur la liaison de connexion}$$

où:

G_{SF} : gain de l'antenne du système du service fixe en direction du satellite (dB)

L_{atm} : affaiblissement dû à l'atmosphère (dB)

pfd : puissance surfacique (pour les limites, se reporter au § 5.1).

Du fait que par hypothèse, dans la présente étude, les satellites émettent en permanence, la station du service fixe peut subir simultanément des brouillages provenant de plusieurs satellites.

5.3.1.5 Hypothèses de départ

- La station du service fixe est située à 45° N, et l'angle d'élévation de l'antenne est compris entre 0° et 3°.
- Le diagramme d'antenne du système du service fixe est repris de la Recommandation UIT-R F.699.
- La période de simulation est de 30 jours.

5.3.1.6 Résultats: brouillage cumulatif

La distribution cumulative de la puissance brouilleuse captée par la station du service fixe avec une antenne présentant un angle d'élévation de 3° et pointant selon l'azimut le plus défavorable, pour diverses constellations non OSG exploitées

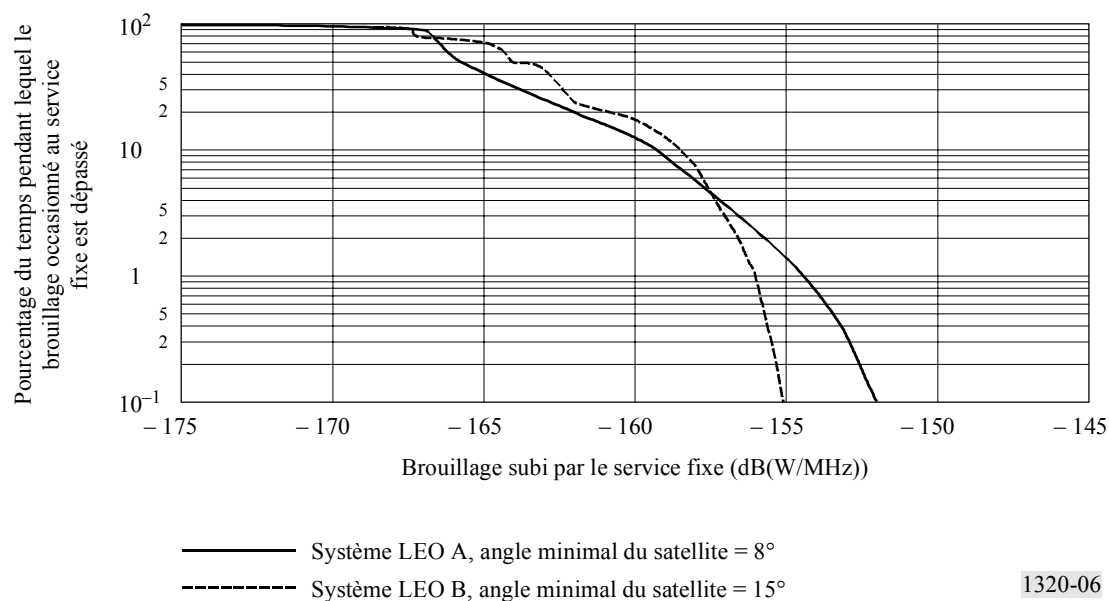
aux valeurs minimales requises d'angle d'élévation, ressort clairement de la Fig. 6. La Fig. 7 représente la sensibilité de l'angle d'élévation de l'antenne du système du service fixe à la puissance brouilleuse dans le cas d'une constellation LEO A exploitée à la valeur minimale requise d'angle d'élévation lorsque l'angle d'élévation du système du service fixe est compris entre 0° et 3° . L'incidence de la valeur minimale d'angle d'élévation du satellite sur le système du service fixe a également été étudiée, et les résultats sont donnés aux Fig. 8 et 9 pour toutes les constellations LEO supposées exploitées avec un angle minimal de 0° .

FIGURE 6

Fonction de distribution cumulative du brouillage occasionné par un système non OSG à un système du service fixe, pour l'azimut correspondant au cas le plus défavorable

SF à 45° N

Angle d'élévation de l'antenne = 3°



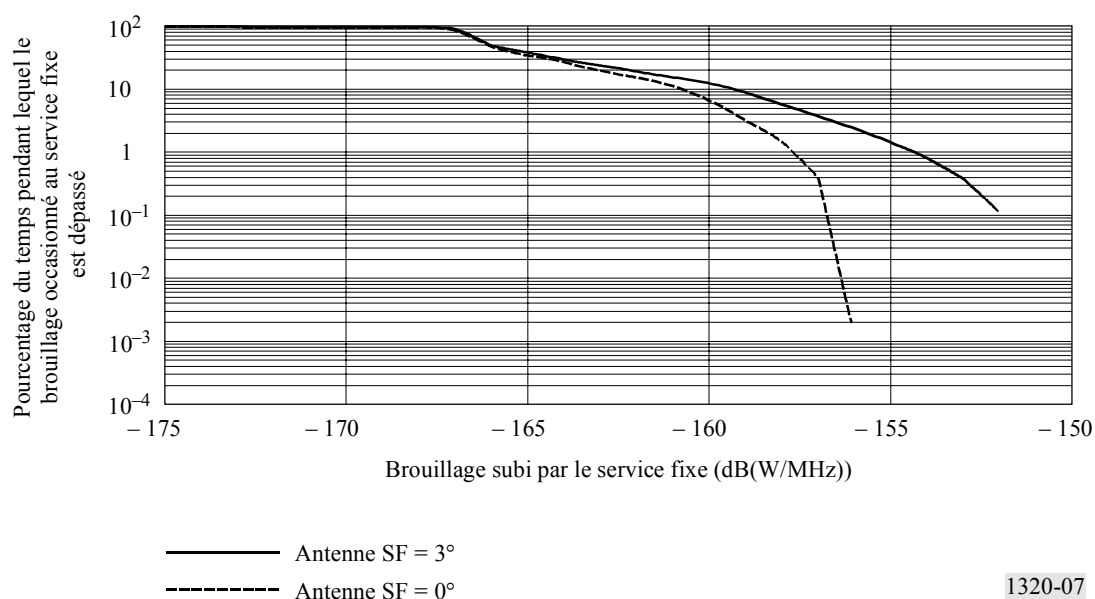
1320-06

FIGURE 7

Fonction de distribution cumulative du brouillage occasionné par un système LEO A à un système du service fixe, pour l'azimut correspondant au cas le plus défavorable

SF à 45° N

Angle minimal d'exploitation du satellite = 8°



1320-07

FIGURE 8

**Fonction de distribution cumulative du brouillage occasionné par un système non OSG
à un système du service fixe, pour l'azimut correspondant au cas le plus défavorable**

Angle minimal d'exploitation du satellite = 0°

SF à 45° N

Angle d'élévation de l'antenne = 0°

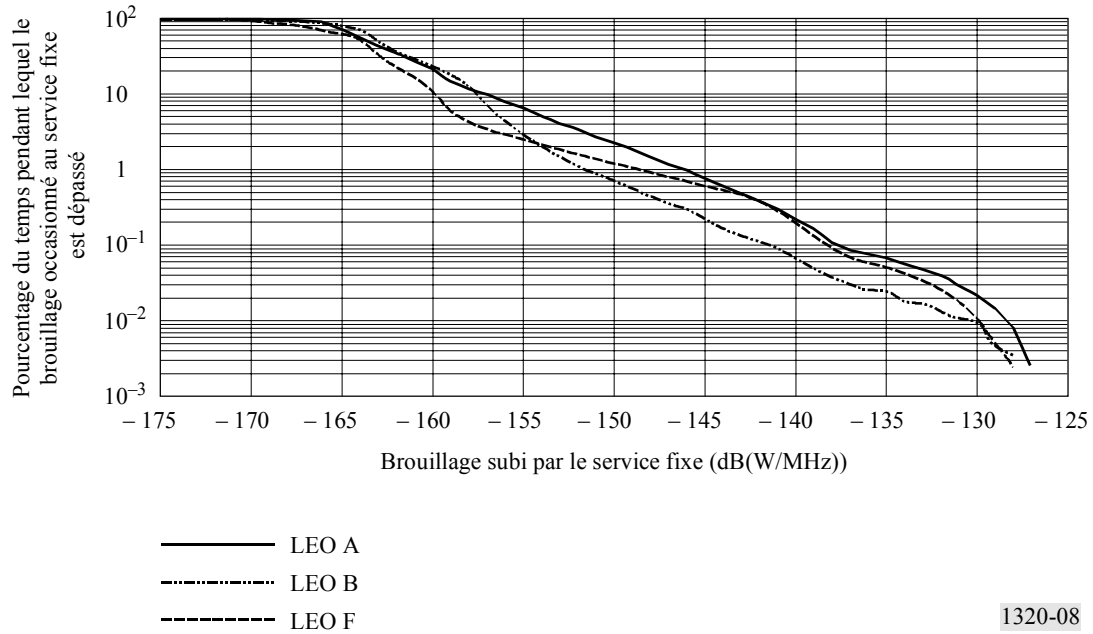


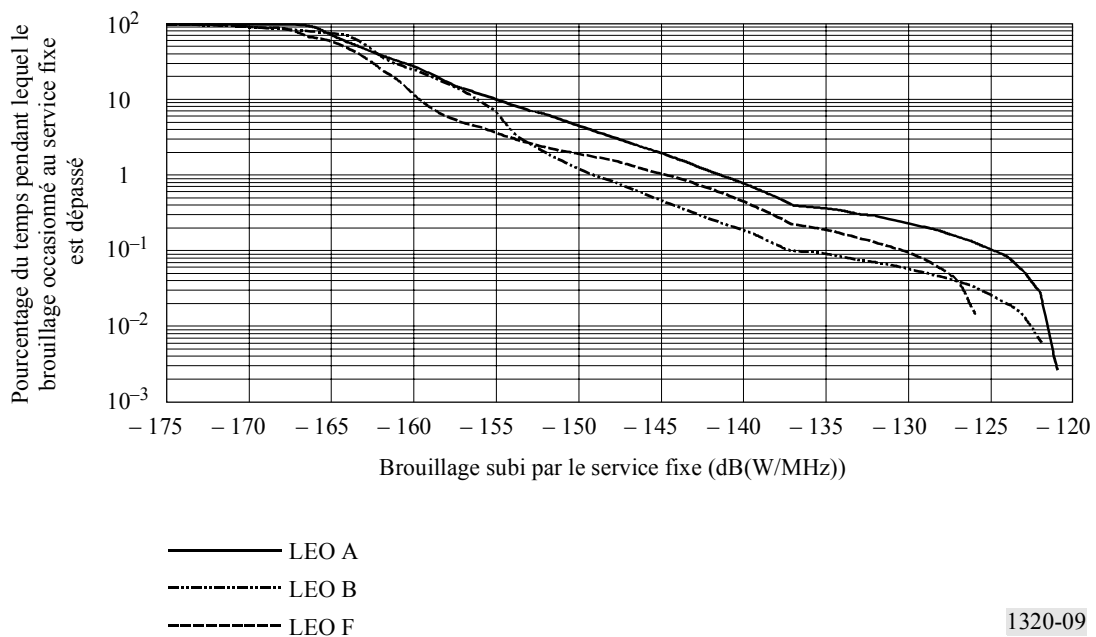
FIGURE 9

**Fonction de distribution cumulative du brouillage occasionné par un système non OSG
à un système du service fixe, pour l'azimut correspondant au cas le plus défavorable**

Angle minimal d'exploitation du satellite = 0°

SF à 45° N

Angle d'élévation de l'antenne = 3°



Ces résultats font apparaître, aussi bien dans le cas d'un fonctionnement unidirectionnel que dans le cas d'un fonctionnement bidirectionnel, que:

- pour toutes les constellations LEO fonctionnant à l'angle d'élévation minimal requis (voir la Fig. 6) la puissance brouilleuse captée avec les valeurs de puissance surfacique de $-115/-105$ dB(W/m² · MHz) spécifiées dans le corps du texte de la présente Recommandation ne dépasse jamais la limite de brouillage correspondant aux critères à court terme. En ce qui concerne les critères à long terme, la durée cumulative de brouillage est très inférieure au pourcentage de temps spécifié. Le cas le plus défavorable correspond au système LEO F: ici, le pourcentage de temps pendant lequel la puissance brouilleuse dépasse les critères de qualité de fonctionnement est de 0,06% pour $I = -147$ dB(W/MHz) (fonctionnement unidirectionnel) et de 0,55% pour $I = -152$ dB(W/MHz) (configuration bidirectionnelle);
- lorsque l'angle d'élévation de l'antenne du système du service fixe diminue, le pourcentage de brouillage observé pendant une période de temps donnée quelconque diminue également. Ce phénomène s'explique par le découplage d'antenne du système du service fixe. Comme on le voit sur la Fig. 7, avec une constellation de type LEO A, le niveau maximal de puissance brouilleuse pour un angle d'élévation du système du service fixe de 0° est inférieur d'environ 4 dB à la valeur observée pour un angle d'élévation de 3°;
- pour ce qui est des satellites exploités avec un angle d'élévation minimal de 0° (configuration illustrée aux Fig. 8 et 9), la puissance brouilleuse reçue est très supérieure à la valeur observée dans le cas de satellites respectant effectivement l'angle d'élévation minimal. Toutefois, ce brouillage, même s'il est plus important, permet encore de respecter les critères à long terme et à court terme en fonctionnement unidirectionnel comme en fonctionnement bidirectionnel.

5.3.2 Méthode de la FDP

5.3.2.1 FDP au niveau du récepteur du service fixe

La FDP au niveau du récepteur du système du service fixe, pour un azimut Az , est donnée par l'équation suivante:

$$FDP_{Az} = (1/T_{max}) \sum_{n=min}^{max} \left(10^{\frac{I_{0,t_n} - N_0}{10}} \right) (\Delta t_n)$$

où:

I_{0,t_n} : densité de brouillage calculée à l'instant t_n (dB(W/Hz))

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

Δt_n : intervalle de temps ($t_n - t_{n-1}$)

T_{max} : durée de la simulation.

On calcule également I_{0,t_n} :

$$I_{0,t_n} = pfd - 10 \log (4\pi/\lambda^2) - 60 + G_{SF}(\alpha)$$

où $G_{SF}(\alpha)$ est le gain de l'antenne de réception du service fixe en direction du satellite de liaison de connexion SMS non OSG.

On calcule ensuite l'angle de séparation α :

$$\alpha = \cos^{-1} [\cos (E1) \cos (E2) \cos (A1 - A2) + \sin (E1) \sin (E2)]$$

où:

$E1$: angle d'élévation de la station du service fixe en direction du satellite LEO B

$A1$: azimut de la station du service fixe en direction du satellite LEO B

$E2$: angle d'élévation de la station du service fixe en direction d'une autre station du service fixe

$A2$: azimut de la station du service fixe en direction d'une autre station du service fixe.

On suppose que la station terrienne du système LEO B et la station du service fixe sont localisées au même point et que l'antenne du satellite LEO B est pointée vers la station terrienne LEO B.

5.3.2.2 Puissance surfacique

Dans le système LEO B, la méthode d'accès multiple est de type AMRC (accès multiple par répartition en code). La plupart du temps, le système LEO B est exploité à une faible valeur de puissance surfacique, généralement inférieure de 10 à 15 dB aux limites spécifiées dans le Règlement des radiocommunications, qui varient entre -115 et -105 dB(W/(m² · MHz)). Les liaisons de connexion SMS non OSG sont exploitées pour une fiabilité de liaison élevée, généralement au moins égale à 99,9%. Selon la demande de trafic et la zone hydrométéorologique considérée, le système LEO B peut être exploité aux limites définies par l'UIT pendant de brefs pourcentages de temps.

Dans notre simulation, on a appliqué le gabarit de puissance surfacique de $-115/-105$ dB(W/(m² · MHz)) à tous les satellites de la constellation LEO B. On a également supposé que la station terrienne LEO B, dotée d'antennes multiples, communique avec tous les satellites visibles et est située au même lieu que la station du service fixe.

5.3.2.3 Résultats de la simulation pour un système de liaison de connexion unique

On a procédé à une simulation de 12 satellites LEO B sur une période de 24 h, par pas temporels de 15 s. Notre simulation repose sur les hypothèses de départ suivantes:

- caractéristiques du récepteur du service fixe:
 - fréquence de réception: 19,3-19,6 GHz
 - gain d'antenne: 42 et 45 dBi
 - facteur de bruit total du système: 5, 7 et 9 dB
 - emplacement de la station du service fixe: latitude: 43,4° N
longitude: 70,2° O
 - angle d'élévation de la station du service fixe: 3°
- angle minimal d'élévation du système LEO B en exploitation: 5°
- emplacement de la station terrienne LEO B: latitude: 43,4° N
longitude: 70,2° O
- pas d'avantage de polarisation (on n'exploite pas les caractéristiques de polarisation)
- diagramme d'antenne de réception du service fixe fondé sur la Recommandation UIT-R F.699.

Les valeurs de FDP au niveau du récepteur du service fixe pour des gains d'antenne de 42 et de 45 dBi sont illustrées aux Fig. 10 et 11. Sur la base de ces Figures, on constate que le niveau de brouillage au niveau du récepteur du service fixe doté d'une antenne à gain de 42 dBi est légèrement supérieur à la valeur obtenue avec une antenne dont le gain est de 45 dBi. En effet, l'antenne de 42 dBi présente une décroissance plus lente que l'antenne de 45 dBi, comme on le constate dans la Fig. 12.

5.3.2.4 FDP occasionnée, au niveau du récepteur du service fixe, par deux systèmes de liaison de connexion en bande aller SMS non OSG

Les études de partage effectuées ont permis de présenter les résultats de simulations de partage de fréquences entre deux systèmes de liaison de connexion SMS non OSG dans les bandes 29/19 GHz. Ces résultats font apparaître qu'il n'est pas possible de situer au même endroit les stations terriennes de deux systèmes à liaison de connexion SMS non OSG, même si l'on tient compte du fait que ces stations fonctionnent en opposition de polarisation, du fait que les liaisons de connexion imposent, si l'on veut obtenir le coefficient de fiabilité requis, d'importantes marges de liaison (la disponibilité des liaisons de connexion est généralement supérieure à 99,9%).

Par ailleurs, les liaisons de connexion SMS non OSG exploitées dans les bandes 29/19 GHz doivent utiliser des faisceaux ponctuels pour donner les valeurs de rapport G/T et de p.i.r.e. requises. En conséquence, la probabilité de captage, à un moment donné, de brouillages provenant de plus d'un système de liaison de connexion SMS non OSG par un récepteur du service fixe est très faible.

Toutefois, lorsque l'on cherche à analyser le cas le plus défavorable, on peut supposer que le récepteur du service fixe se trouve à l'intérieur de la largeur à 3 dB du faisceau de chaque système SMS non OSG et reçoit donc des brouillages simultanés de ces deux systèmes. Lorsque les deux systèmes SMS non OSG sont exploités à la limite de puissance surfacique définie par l'UIT et que l'on tient compte du découplage de polarisation entre les systèmes à satellites et le système de Terre, la FDP au niveau du récepteur du service fixe est la même qu'aux Fig. 10 et 11.

5.3.2.5 Partage entre liaisons de connexion SMS non OSG (Terre-espace) et service fixe en bandes inversées (Terre-espace)

Le partage entre deux liaisons de connexion SMS non OSG exploitées dans le sens Terre-espace et des récepteurs du service fixe n'a pas été considéré dans la présente étude.

FIGURE 10
FDP produite, au niveau du récepteur du service fixe, par la constellation LEO B
(gain d'antenne de la station du service fixe = 42 dBi)

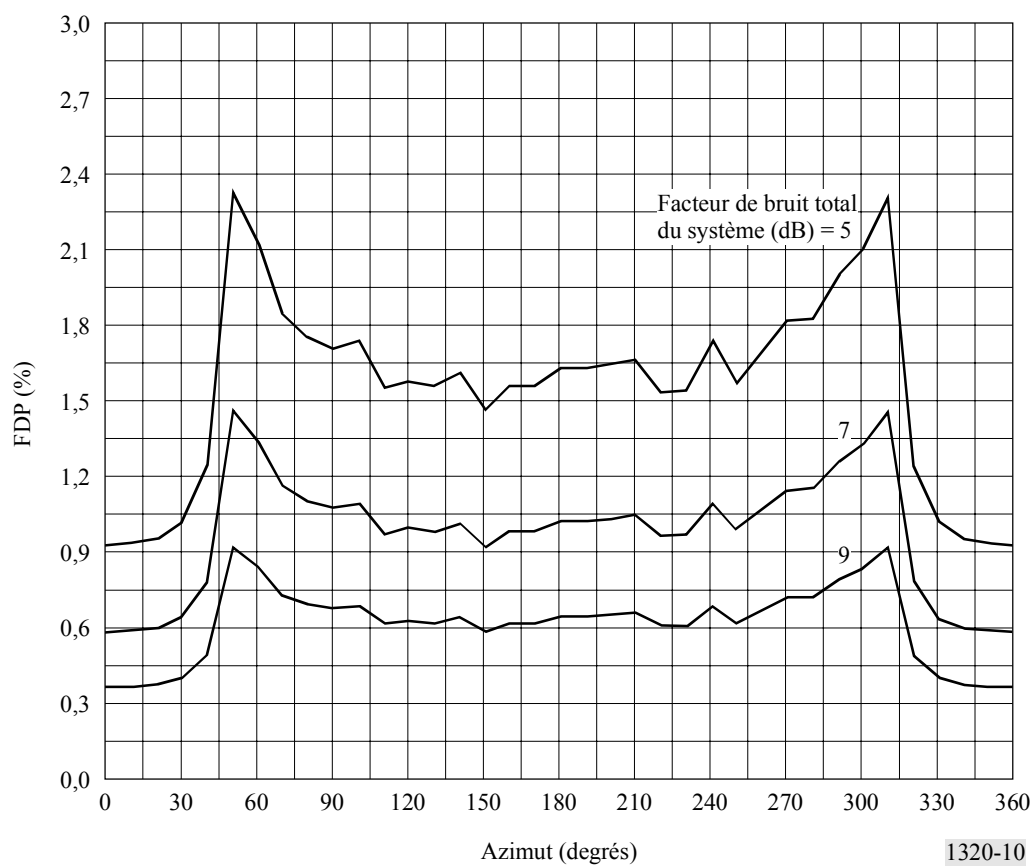
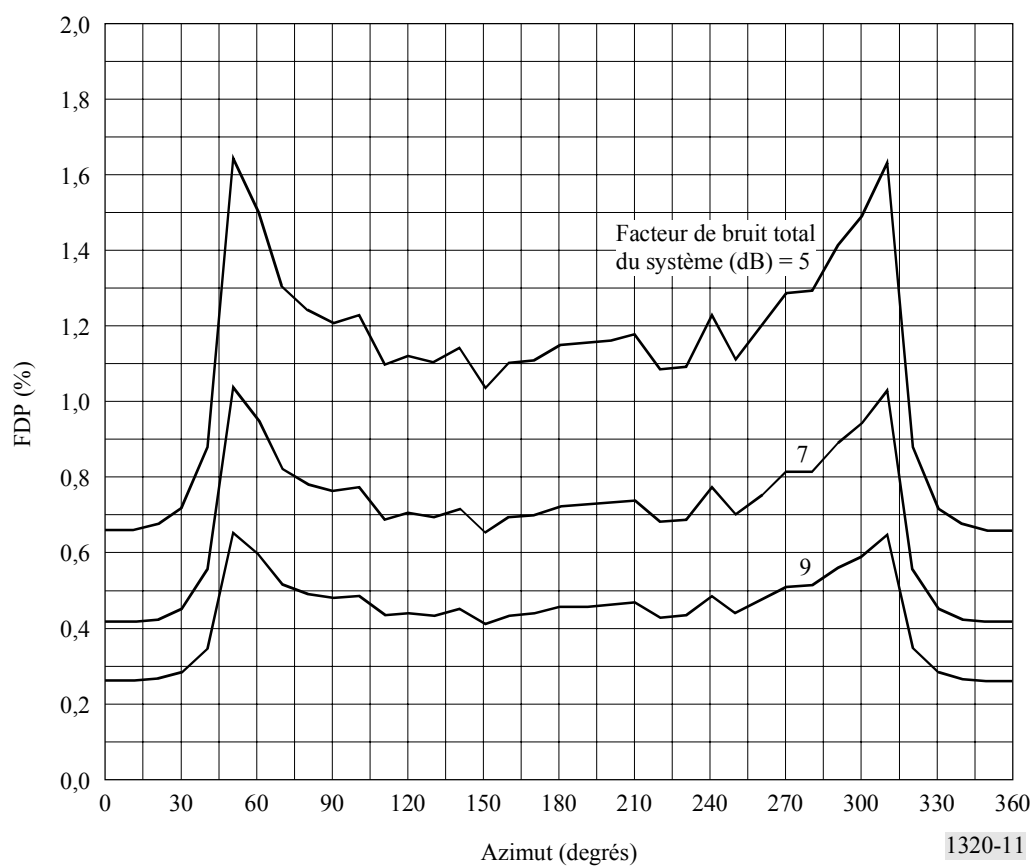


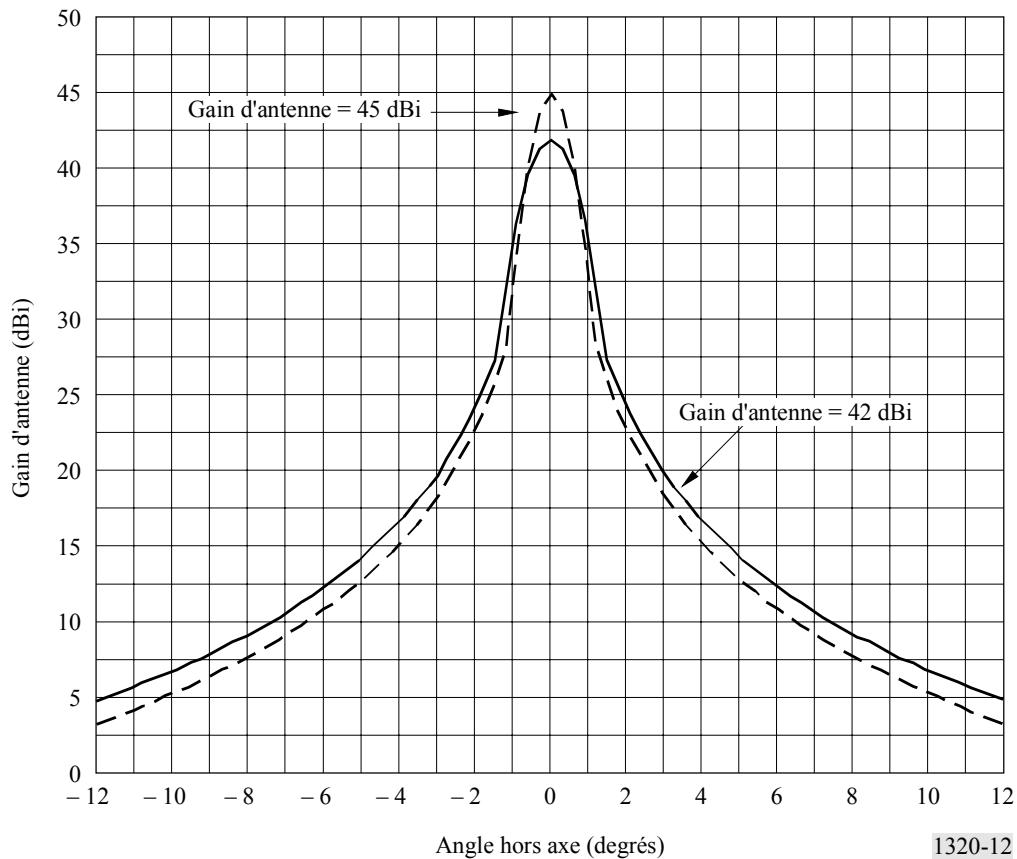
FIGURE 11

FDP produite, au niveau du récepteur du service fixe, par la constellation LEO B
(gain d'antenne du service fixe = 45 dBi)



1320-11

FIGURE 12
Diagrammes d'antenne de réception du service fixe
(voir la Recommandation UIT-R F.699)



5.3.2.6 Niveaux de brouillage cumulatif pour le système LEO B

Pour compléter les simulations de la FDP que nous avons traitées plus haut, les Fig. 13 et 14 illustrent les distributions cumulatives de la densité de brouillage, (I_0), occasionnée par un système LEO B à un récepteur du service fixe, pour des angles d'élévation de station du service fixe de 0° et 3° . Ces résultats ont été obtenus par simulation informatique de la constellation de satellites, l'équation suivante permettant de calculer I_0 :

$$I_0 = pfd - 10 \log (4\pi/\lambda^2) + G_{SF} (\alpha) \quad \text{dB(W/MHz)}$$

Ici encore, on n'a considéré ni l'affaiblissement dû à l'atmosphère ni l'affaiblissement sur la liaison de connexion.

5.3.3 Résumé des résultats, 19 GHz

Nous avons donc examiné l'incidence des brouillages occasionnés par des liaisons de connexion du SMS non OSG dans la bande des 19 GHz lorsque ces liaisons sont exploitées aux limites de puissance surfacique actuellement spécifiées dans l'Article S21 du RR. Les résultats de cette étude font apparaître que les brouillages sont compris dans les limites tolérables. Le pourcentage de temps pendant lequel les brouillages dépassaient les niveaux admissibles était plus élevé en exploitation bidirectionnelle qu'en exploitation unidirectionnelle.

Il convient de noter que l'analyse concernait une station du service fixe située à 45° N, pointée selon l'azimut le plus défavorable. Le niveau de brouillage (ou le pourcentage de temps pendant lequel on observe des phénomènes de brouillage) peut être plus élevé lorsque la station du service fixe est située plus au nord. Toutefois, l'augmentation de puissance des signaux brouilleurs ne devrait pas être importante au point d'imposer une modification des conclusions puisque en tout état de cause ces niveaux de brouillage sont très inférieurs aux critères spécifiés.

La simulation fait apparaître que la FDP d'un système du service fixe occasionnée par les signaux brouilleurs de la liaison descendante d'un système de liaison de connexion SMS non OSG est inférieure à 2%. Dans la présente étude,

nous avons supposé que le système LEO B est exploité à la limite de puissance surfacique spécifiée dans le RR jusqu'à un angle d'élévation de 5° et que la station terrienne du système LEO B communique avec tous les satellites visibles. Il n'a été par ailleurs tenu compte d'aucun découplage de polarisation. Alors que l'analyse reposait sur le cas le plus défavorable, la valeur de FDP donnée par la simulation au niveau du récepteur du service fixe demeure inférieure à 2%.

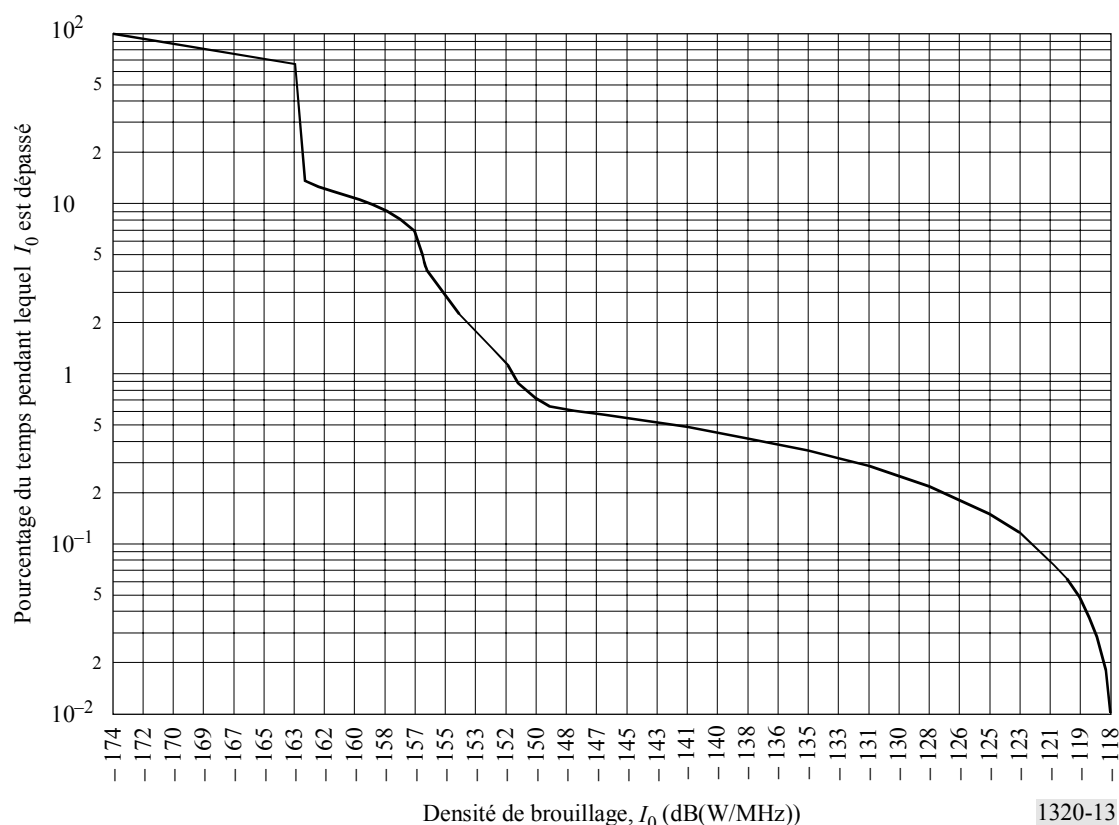
Pour résumer, on peut dire que les actuelles limites de puissance surfacique de l'Article S21 du RR applicables à la bande 19,3-19,6 GHz devraient conférer une production adéquate au service fixe.

FIGURE 13
Densité de brouillage, I_0 , au niveau de la station de réception du service fixe

Angle d'élévation du service fixe = 0°

Angle d'élévation LEO B = 0°

Azimut le plus défavorable



6 Limites de densité de puissance surfacique proposées

Sur la base d'une analyse de différentes études et des éléments modérateurs dont il est question au § 5.2.4, il est proposé d'appliquer les limites de densité de puissance surfacique suivantes à tout satellite SMS non OSG fonctionnant en bande inverse:

6 700-6 825 MHz: $-137/-127$ dB(W/m² dans 1 MHz)

6 825-7 075 MHz: $-134/-124$ dB(W/m² dans 1 MHz) et $-154/-144$ dB(W/m² dans 4 kHz)

la limite spécifiée par largeur de référence de 4 kHz étant ajoutée pour conférer une protection additionnelle aux faisceaux hertziens analogiques de forte capacité.

Pour ce qui est de la bande 19,3-19,6 GHz, la limite suivante conviendrait:

19,3-19,6 GHz: $-115/-105$ dB(W/m² dans 1 MHz)

Ces limites de puissance surfacique ont été établies pour deux réseaux de liaison de connexion SMS non OSG.

FIGURE 14

Densité de brouillage I_0 au niveau de la station de réception du service fixe

Angle d'élévation du service fixe = 3°

Angle d'élévation LEO B = 5°

