

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R F.1509-4
(01/2018)

**Caractéristiques techniques et
opérationnelles propres à faciliter
le partage entre les systèmes point à
multipoint du service fixe et le service
inter-satellites dans la bande
25,25-27,5-GHz**

Série F
Service fixe



Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

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

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2018

© UIT 2018

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R F.1509-4*

Caractéristiques techniques et opérationnelles propres à faciliter le partage entre les systèmes point à multipoint du service fixe et le service inter-satellites dans la bande 25,25-27,5 GHz

(Question UIT-R 118/7)

(2001-2009-2013-2015-2018)

Domaine d'application

La présente Recommandation donne la densité de p.i.r.e. maximale des stations centrales d'émission et des stations d'abonné point à multipoint du service fixe en direction de l'orbite des satellites géostationnaires, afin de permettre le partage avec le service inter-satellites dans la bande de fréquences 25,25-27,5 GHz. La densité de p.i.r.e. de référence indiquée dans la présente Recommandation tient compte de la nécessité d'assurer les transmissions au niveau minimal nécessaire ainsi que de l'utilisation de la commande automatique de la puissance d'émission (CAPE) dans les stations du service fixe (SF) en cas de précipitations.

Mots clés

Satellites relais de données, positions orbitales, p.i.r.e., densité spectrale

Abréviations

CAPE	commande automatique de la puissance d'émission
SRD	satellite relais de données
p.i.r.e.	puissance isotrope rayonnée équivalente
SF	service fixe
OSG	orbite des satellites géostationnaires
POCS	système de communication d'exploitation de proximité (<i>proximity operations communication system</i>)

Recommandations connexes de l'UIT

Recommandation UIT-R F.758	Paramètres des systèmes et considérations relatives à la mise au point de critères pour le partage ou la compatibilité entre les systèmes hertziens fixes numériques du service fixe et les systèmes d'autres services ainsi que d'autres sources de brouillage
Recommandation UIT-R F.1249	Caractéristiques techniques et opérationnelles propres à faciliter le partage entre les systèmes point à point du service fixe et le service inter-satellites dans la bande 25,25-27,5 GHz
Recommandation UIT-R F.1336	Diagrammes de rayonnement de référence des antennes équidirectives, sectorielles et autres antennes pour les services fixe et mobile, à utiliser pour les études de partage dans la gamme de fréquences comprise entre 400 MHz et environ 70 GHz

* Cette Recommandation ayant été élaborée conjointement par les Commissions d'études 7 et 5 des radiocommunications, toute révision future devra être faite conjointement.

Recommandation UIT-R SA.609	Critères de protection pour les liaisons de radiocommunication avec les satellites de recherche habités ou non, proches de la Terre
Recommandation UIT-R SA.1018	Système fictif de référence pour des systèmes comprenant des relais de données en orbite géostationnaire et des engins spatiaux en orbites terrestres basses
Recommandation UIT-R SA.1155	Critères de protection relatifs à l'exploitation des systèmes à satellites relais de données
Recommandation UIT-R SA.1276	Positions orbitales des satellites relais de données devant être protégées contre les émissions des systèmes du service fixe fonctionnant dans la bande 25,25-27,5 GHz

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la bande 25,25-27,5 GHz est attribuée aux services fixe, mobile et inter-satellites à titre primaire;
- b) qu'en plus des systèmes point à point du service fixe (SF), il est prévu d'exploiter des systèmes point à multipoint (P-MP) du SF dans la bande 25,25-27,5 GHz;
- c) que des liaisons de radiocommunication espace-espace du service inter-satellites sont utilisées dans la bande 25,25-27,5 GHz;
- d) que des liaisons espace-espace sont établies entre des satellites utilisateurs en orbite basse et des satellites relais de données (SRD) géostationnaires, et qu'un système de communication d'exploitation de proximité (POCS) permet d'établir des liaisons entre utilisateurs à proximité de stations spatiales en orbite basse;
- e) que ces liaisons, en particulier les liaisons espace-espace d'un réseau à SRD, sont conçues pour fonctionner avec des marges de l'ordre de 2 à 4 dB;
- f) que les liaisons par satellite sont sensibles aux brouillages occasionnés par les émissions de systèmes du service fixe en visibilité directe sur une vaste zone géographique;
- g) qu'en faisant porter la protection sur des positions orbitales données plutôt que sur la totalité d'un arc orbital, on atténuerait les contraintes de partage de bande imposées au service fixe, en particulier aux stations situées à haute altitude,

reconnaissant

- a) que les critères de protection applicables aux liaisons POCS figurent dans la Recommandation UIT-R SA.609 et que les critères de protection applicables aux liaisons assurées par des SRD se trouvent dans la Recommandation UIT-R SA.1155;
- b) qu'un petit nombre de réseaux à SRD (voir la Recommandation UIT-R SA.1018) sont déjà exploités, ou sont en passe de l'être, sur l'orbite des satellites géostationnaires aux positions orbitales indiquées dans la Recommandation UIT-R SA.1276-5 (voir la Note 1);
- c) que la Recommandation UIT-R F.758 donne une grande diversité de paramètres de systèmes hertziens fixes pouvant être modélisée au moyen de systèmes représentatifs pour certaines gammes de fréquences particulières,

recommande

1 que, pour chaque émetteur d'une station centrale d'un réseau P-MP du SF fonctionnant dans la bande 25,25-27,5 GHz (voir l'Annexe 1 pour les limites de p.i.r.e.):

1.1 la densité spectrale de p.i.r.e. émise en direction d'une position quelconque sur l'orbite des satellites géostationnaires (OSG) indiquée dans la Recommandation UIT-R SA.1276 ne dépasse pas les valeurs ci-après dans une bande quelconque large de 1 MHz, pour un angle d'élévation θ au-dessus du plan horizontal local (voir les Notes 1, 2 et 3):

+8 dBW pour $0^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$

+14 – 10 log($\theta/5$) dBW pour $20^\circ < \theta \leq 90^\circ$

1.2 la densité spectrale de p.i.r.e. émise ne dépasse pas les valeurs ci-après dans une bande quelconque large de 1 MHz pour un angle d'élévation θ au-dessus du plan horizontal local:

+14 dBW pour $0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$

+14 – 10 log($\theta/5$) dBW pour $5^\circ < \theta \leq 90^\circ$

1.3 en présence de phénomènes d'affaiblissement dus aux précipitations entre les stations centrales d'émission et les stations de réception du SF, la station centrale d'émission peut utiliser la commande automatique de la puissance d'émission (CAPE) pour augmenter sa puissance d'émission d'une valeur ne dépassant pas l'affaiblissement dû aux précipitations, de façon que sa densité spectrale de p.i.r.e. en direction d'une position quelconque sur l'OSG indiquée dans la Recommandation UIT-R SA.1276 ne dépasse pas +17 dBW dans une bande quelconque large de 1 MHz;

2 que la densité spectrale de p.i.r.e. émise par chaque station d'abonné d'un réseau P-MP du SF exploité dans la bande 25,25-27,5 GHz soit conforme aux points 2 et 3 du *recommande* de la Recommandation UIT-R F.1249;

3 Les Notes 1, 2 et 3 ci-après font partie de la présente Recommandation.

NOTE 1 – La Recommandation UIT-R SA.1276-5 donne les positions de SRD suivantes sur l'orbite des satellites géostationnaires: 9° E; 10,6° E; 16,4° E; 16,8° E; 20,4° E; 21,5° E; 47° E; 59° E; 77° E; 80° E; 85° E; 89° E; 90,75° E; 95° E; 113° E; 121° E; 133° E; 160° E; 167° E; 171° E; 176,8° E; 177,5° E; 12° O; 16° O; 32° O; 41° O; 44° O; 46° O; 49° O; 62° O; 139° O; 160° O; 164,2° O; 167,5° O; 170° O; 171° O et 174° O.

Lorsque la Recommandation UIT-R SA.1276 est révisée afin d'ajouter de nouvelles positions orbitales pour les SRD, la protection des stations spatiales utilisant ces nouveaux créneaux orbitaux conformément à la révision de la présente Recommandation ne s'applique qu'aux stations du service fixe installées après la date d'entrée en vigueur de la Recommandation UIT-R SA.1276 révisée.

NOTE 2 – La densité spectrale de p.i.r.e. rayonnée vers un SRD géostationnaire est le produit de la densité spectrale de puissance à l'émission et du gain de l'antenne équidirective ou sectorielle dans la direction du SRD. En l'absence de diagramme de rayonnement pour l'antenne de la station centrale, il convient d'utiliser le diagramme de rayonnement de référence de la Recommandation UIT-R F.1336. Le calcul devrait tenir compte des effets de la réfraction atmosphérique et de l'horizon local. Une méthode de calcul des séparations angulaires est indiquée dans l'Annexe 2.

NOTE 3 – Lorsqu'une station centrale fonctionne à une seule fréquence et que la même fréquence est utilisée pour la transmission et la réception sur la base de la répartition dans le temps, la limite de la densité spectrale de p.i.r.e. indiquée au point 1.1 du *recommande* peut être réduite de $7 \log(1/\delta)$ dB, où le facteur de déploiement δ ($0 < \delta < 1$) est la proportion de temps pendant laquelle une station centrale émet des signaux d'émission. Toutefois, cette réduction ne devrait pas dépasser 3 dB, même lorsque la valeur de δ est petite.

Annexe 1

Evaluation de la distribution spatiale et temporelle des brouillages causés aux systèmes SRD et aux systèmes POCS par les émissions des stations centrales P-MP du SF dans la bande 25,25-27,5 GHz

1 Introduction

On trouvera dans la présente Annexe une évaluation obtenue par simulation informatique de la distribution spatiale et temporelle des brouillages causés aux SRD à des positions orbitales données, et aux systèmes POCS par les émissions de stations centrales de systèmes P-MP du SF réparties dans le monde entier dans la bande 25,25-27,5 GHz. Ces systèmes P-MP du SF sont souvent désignés sous le nom de systèmes du service local de distribution multipoint (LMDS, *local multipoint distribution service*). On suppose dans cette analyse que la valeur de crête de la densité spectrale de p.i.r.e. (pic de faisceau) de chaque station centrale est de +8 dB(W/MHz), le Rapport UIT-R F.2108 indiquant qu'il s'agit d'une valeur type pour les stations centrales des systèmes point à multipoint. Une station d'émission du LMDS fonctionnant avec une densité spectrale de p.i.r.e. de +8 dB(W/MHz) ne dépasse pas le niveau de protection spécifié dans la Recommandation UIT-R SA.1155, quelle que soit sa position géographique par rapport à la position orbitale d'un SRD. Le niveau de protection de -148 dB(W/MHz) ne doit pas être dépassé pendant plus de 0,1% d'une période orbitale. Toutefois, l'effet cumulatif de plusieurs stations d'émission du LMDS utilisant le même canal dans un centre de population urbain, peut, sous certaines conditions géométriques, causer des brouillages dont le niveau dépasse le niveau de protection des SRD.

Le § 2 décrit la méthode et les hypothèses utilisées pour évaluer la distribution spatiale et temporelle des brouillages causés aux SRD. Les résultats de deux études, Etude A et Etude B, sont présentés respectivement aux § 3 et 4. On a pris pour hypothèse une densité spectrale de p.i.r.e. de +8 dB(W/MHz) dans l'Etude A et de +14 dB(W/MHz) dans l'Etude B. Le § 3 donne la distribution spatiale des brouillages causés à des SRD placés sur certaines positions orbitales et montre que le niveau de brouillage subi par un SRD peut dépasser de 9 dB le niveau de brouillage recommandé, lorsque la densité spectrale de p.i.r.e. est émise dans le plan local horizontal depuis une zone de service comportant 29 stations centrales visibles par le SRD et fonctionnant à +8 dB(W/MHz). Le § 3 présente aussi les résultats de simulations dynamiques permettant de déterminer les caractéristiques temporelles de brouillages causés à un SRD effectuant la poursuite d'un satellite utilisateur en orbite basse et ayant les caractéristiques orbitales de la station spatiale internationale. Il apparaît que la durée des brouillages peut être supérieure à un laps de temps de plus de 0,1% d'une période orbitale du satellite utilisateur lorsque, du fait du nombre réduit d'orbites à nœud ascendant, le satellite utilisateur est aligné avec les centres de population urbains apparaissant sur le limbe de la Terre ou au voisinage de ce limbe. Les résultats de l'Etude B sont présentés au § 4. Le § 5 décrit un moyen simple d'appliquer les résultats de cette étude aux déploiements LMDS utilisant des cellules plus petites. Le § 6 traite des brouillages subis par les systèmes POCS et montre que, pour une densité spectrale de p.i.r.e. de +14 dB(W/MHz), le brouillage cumulatif causé aux antennes de réception du système POCS par des stations centrales du LMDS est nettement inférieur, en permanence, au critère de protection de -147 dB(W/MHz). On trouvera au § 7 les conclusions de l'étude et des caractéristiques propres à faciliter le partage entre les systèmes des services scientifiques spatiaux, les systèmes du service inter-satellites et les systèmes P-MP du SF.

2 Méthode

Des simulations informatiques ont été faites pour évaluer la distribution spatiale et temporelle des brouillages causés à des systèmes SRD par les émissions d'un certain nombre (pouvant être fort élevé d'ailleurs) de systèmes P-MP à haute densité du SF devant être exploités dans la bande 25,25-27,5 GHz. La méthode utilisée consiste à répartir un certain nombre de stations centrales du LMDS dans des centres de population urbains et à déterminer les brouillages spatiaux et temporels qui en résultent. Pour déterminer la distribution spatiale, le brouillage cumulatif causé à un SRD sur une position orbitale donnée est calculé à mesure que s'opère le balayage en roulis et en tangage de l'antenne de réception à gain élevé du SRD. Ce procédé est décrit au § 2.1. La méthode permettant de déterminer les caractéristiques temporelles des brouillages est décrite au § 2.2. Dans les deux cas, la simulation tient compte de la densité spectrale de p.i.r.e. et du gain de la station d'émission du LMDS dans la direction du SRD, de l'absorption atmosphérique, de l'affaiblissement le long du trajet et du gain de l'antenne de réception du SRD dans la direction de la station brouilleuse du LMDS.

2.1 Distribution spatiale

Les stations du LMDS devraient être déployées en configurations cellulaires dans des centres de population urbains afin d'offrir aux entreprises, aux pouvoirs publics et aux particuliers des services de communication numérique de radiodiffusion ou interactifs à moyen ou à haut débit (accès à l'Internet, téléphonie, données et vidéo, par exemple). On suppose pour les besoins de l'analyse que les émissions cumulées dans un même canal en provenance d'une zone de service du LMDS peuvent être modélisées sous la forme d'une station unique dont l'émetteur rayonne une densité spectrale de puissance égale à la somme des densités spectrales de puissance rayonnées à l'entrée de chaque station centrale du LMDS dans la zone de service. On considère de plus qu'une seule antenne d'émission donne une représentation acceptable de la distribution de densité spectrale de p.i.r.e. rayonnée au-dessus du plan horizontal local.

On a admis pour ces simulations que chaque station centrale émettait une densité spectrale de p.i.r.e. de +8 dB(W/MHz)¹ et que les émissions cumulées du LMDS depuis une zone de service donnée du LMDS étaient proportionnelles au nombre de stations centrales présentes dans le centre de population urbain.

Le modèle particulier utilisé pour la simulation est décrit ci-dessous. La puissance reçue en provenance d'une station d'émission distante peut s'exprimer de la façon suivante:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{l_1 l_2 l_3} \quad (1)$$

où:

- P_r : densité spectrale de la puissance reçue à la sortie d'une antenne dans une bande de fréquences donnée (considérée pour les besoins de l'analyse comme étant une densité spectrale de puissance (W/MHz))
- P_t : puissance émise à l'entrée d'une antenne dans la bande de fréquences définie pour la puissance reçue (considérée pour les besoins de l'étude comme étant une densité spectrale (W/MHz))

¹ On suppose dans cette analyse que le faisceau d'une station centrale émet une valeur de crête de +8 dB(W/MHz) à 0° d'élévation et pour toutes les directions azimutales depuis la station centrale. On suppose aussi que les secteurs d'antenne adjacents fonctionnent à la même fréquence avec des polarisations rectilignes orthogonales.

- G_t : gain de l'antenne d'émission dans la direction de la station de réception par rapport à une source isotrope (numérique)
- G_r : gain de l'antenne de réception dans la direction de la station d'émission par rapport à une source isotrope (numérique)
- l_1 : affaiblissement de propagation en espace libre (numérique)
- l_2 : affaiblissement hors celui correspondant à l_1 , dû à plusieurs effets atmosphériques stationnaires ou dépendant du temps (numérique)
- l_3 : affaiblissement par couplage de polarisation (numérique), égal à l'unité si les antennes d'émission et de réception sont copolaires².

L'affaiblissement de propagation en espace libre est donné par l'expression:

$$l_1 = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (2)$$

où:

d : distance (m) entre les stations d'émission et de réception

λ : longueur d'onde (m).

Chacune des stations d'émission partageant la même fréquence crée une liaison radioélectrique avec le récepteur. La puissance reçue en provenance de chacune des n liaisons, qui sont censées émettre des signaux décorrélés, s'additionne pour former une puissance reçue cumulative donnée par l'expression:

$$P_r = \sum_{i=1}^n \frac{P_{ti} G_{ti} G_{ri}}{l_{1i} l_{2i} l_{3i}} \quad (3)$$

où les termes sont ceux définis plus haut, moyennant l'adjonction de l'indice i qui désigne une liaison donnée.

Le brouillage cumulatif est la somme des brouillages causés par chaque station d'émission. Le brouillage causé par chaque station dépend principalement du gain des antennes d'émission et de réception ainsi que de l'angle hors axe de ces antennes.

Certains termes étant pratiquement constants pour une même zone de déploiement, et pour accélérer les calculs, on peut réécrire l'équation (3) comme suit:

$$P_r = \sum_{i=1}^m \frac{G_{ti} G_{ri} \sum_{j=1}^q P_{tij}}{l_{1i} l_{2i} l_{3i}} \quad (4)$$

où:

q : nombre de stations centrales dans une zone de déploiement donnée

m : nombre de zones de déploiement.

Des analyses ultérieures ont montré que, pour les scénarios de brouillage simulés, l'erreur introduite par la simplification de l'équation (4) était inférieure à 1 dB.

² On suppose que l_3 est égal à 2 s'il y a alignement des faisceaux principaux d'une antenne d'émission à polarisation rectiligne (cas usuel du SF) et des antennes de réception à polarisation circulaire du satellite.

Le déploiement des systèmes du LMDS correspond par hypothèse à 431 centres de population urbains de plus de 750 000 habitants en 2015 (estimations des Nations Unies, voir «Urban Agglomerations, 1950-2015 (révision de 1996)», United Nations Population Division, New York, Etats-Unis d'Amérique, 1996 (disponible sur disquette)).

La relation empirique ci-après donne le rayon R_p (km) d'une zone circulaire équivalente comprenant une population totale P :

$$R_p = \alpha \times P^\beta \quad (5)$$

Pour les Etats-Unis d'Amérique, les valeurs $\alpha = 0,035$ et $\beta = 0,44$ se sont révélées satisfaisantes. Pour d'autres régions du monde, les valeurs $\alpha = 0,0155$ et $\beta = 0,44$ ont permis d'obtenir une bonne estimation.

L'équation (5) a servi à estimer le nombre de stations centrales nécessaires pour desservir une zone comprenant toute la population d'une agglomération urbaine. En supposant que chaque station centrale couvre une zone circulaire de rayon R_h , le nombre N de stations centrales sera:

$$N = \text{Int} \left(\eta \left(\frac{R_p}{R_h} \right)^2 + 0,5 \right) \quad (6)$$

où:

- N : nombre de stations centrales pour le rayon supposé de la cellule
- $\text{Int}()$: partie entière de l'argument
- R_p : rayon équivalent de la zone urbaine (km)
- R_h : rayon d'une cellule type du LMDS (km)
- η : facteur de déploiement ($0 < \eta \leq 1$).

On a supposé pour les simulations un rayon de cellule de 5 km et un facteur de déploiement de 0,30. Cette dernière valeur tient compte de facteurs économiques, démographiques et géographiques, et du fait que certaines administrations décideront peut-être que la bande concernée ne doit pas être utilisée par les systèmes P-MP du SF. Des calculs effectués à l'aide de la base de données des Nations Unies sur la population et des équations (5) et (6) montrent que c'est à New York, Etats-Unis d'Amérique (35 stations) et à Tokyo, Japon (11 stations) que le nombre de stations centrales est le plus élevé. Avec la méthode, on obtient un déploiement total à travers le monde de 944 stations centrales partageant la même fréquence. Il est à noter que le déploiement à l'échelle mondiale étudié dans la présente Annexe ne concerne que les stations centrales partageant la même fréquence.

Le diagramme de rayonnement de référence des antennes des stations centrales est fondé sur la Recommandation UIT-R F.1336. On obtient un diagramme équidirectif en utilisant 4 antennes sectorielles qui présentent chacune un gain de 15 dBi et une ouverture de faisceau à 3 dB de 90° dans le plan horizontal. On a également choisi par hypothèse une discrimination de polarisation de 3 dB pour tenir compte du couplage entre les axes de visée de l'antenne d'émission à polarisation rectiligne de la station centrale d'une part, et de l'antenne de réception à polarisation circulaire du SRD, d'autre part. Si l'on ne prend pas en considération les angles d'inclinaison vers le bas, le diagramme de rayonnement de référence de l'antenne d'émission est conforme au diagramme suivant dans le plan vertical:

$$G(\theta) = G_0 - 12 \left(\frac{\theta}{\phi_3} \right)^2 \quad \text{pour } |\theta| \leq \phi_3 \quad (7a)$$

$$G(\theta) = G_0 - 12 - 10 \log \left(\frac{\theta}{\varphi_3} \right) \quad \text{pour } |\theta| > \varphi_3 \quad (7b)$$

où:

- $G(\theta)$: gain par rapport à une antenne isotrope (dBi)
- G_0 : gain maximal dans le plan horizontal (dBi)
- θ : angle d'élévation mesuré dans le plan vertical (degrés)
- φ_3 : ouverture de faisceau à 3 dB dans le plan vertical (degrés).

$$\varphi_3 = \frac{31\,000 \times 10^{-0,1G_0}}{90} \quad (7c)$$

On tient compte de l'absorption atmosphérique le long du trajet LMDS-SRD en utilisant les formules ci-après, qui s'appliquent à la bande des 27,5 GHz, conformément à la Recommandation UIT-R F.1404:

$$A_{LowLat} = 22,73 / \left[1 + 0,9463\theta + 0,03455\theta^2 + h(0,3232 + 0,4519\theta) + h^2(0,2486 + 0,1317\theta) \right] \quad (8a)$$

$$A_{MidLat} = 11,96 / \left[1 + 0,8121\theta + 0,03055\theta^2 + h(0,2619 + 0,4728\theta) + 0,1409 h^2 \right] \quad (8b)$$

$$A_{HiLat} = 8,77 / \left[1 + 0,8259\theta + h(0,2163 + 0,3037\theta) + 0,1067 h \right] \quad (8c)$$

où:

- A_{LowLat} : absorption atmosphérique pour les zones aux basses latitudes (comprises entre $-22,5^\circ$ et $+22,5^\circ$) (dB)
- A_{MidLat} : absorption atmosphérique pour les zones aux latitudes moyennes (comprises entre $22,5^\circ$ et 45°) (dB)
- A_{HiLat} : absorption atmosphérique pour les zones aux latitudes élevées (supérieures à 45°) (dB);
- θ : angle d'élévation (degrés), $0 \leq \theta \leq 90^\circ$
- h : altitude de l'antenne d'émission par rapport au niveau moyen de la mer (km), $h \leq 3$ km.

On suppose que l'antenne d'émission de chaque station du LMDS se trouve à 0,50 km au-dessus du niveau moyen de la mer.

Les SRD utilisent des antennes de réception orientables à gain élevé permettant la poursuite de satellites utilisateurs en orbite basse. Pour l'analyse spatiale, les variables indépendantes sont: la position orbitale du SRD géostationnaire (on suppose que l'inclinaison orbitale est nulle) et les angles de roulis et de tangage des antennes orientables. Les angles de roulis et de tangage sont définis dans un système de coordonnées sphériques centré sur le SRD. L'axe des x est dirigé vers le centre de la Terre, l'axe des y pointe en direction du vecteur vitesse du satellite et l'axe des z est parallèle à l'axe de rotation de la Terre. Le système de coordonnées locales étant ainsi défini, on appelle respectivement lacet, roulis et tangage les rotations autour des axes des x, y et z.

Le balayage de l'antenne de réception du SRD suivant un pas d'incrément de $0,2^\circ$ des angles de roulis et de tangage permet de déterminer la distribution spatiale des brouillages. Pour chaque position de pointage de l'antenne du SRD, on calcule le brouillage cumulatif causé par les émissions de chaque station du LMDS dans la zone de visibilité directe du SRD, en tenant compte de l'angle d'élévation

en direction du SRD, de la densité spectrale de p.i.r.e. des émissions du LMDS en direction du SRD, de l'absorption atmosphérique, de la distance et du gain de l'antenne de réception du SRD dans la direction de la station du LMDS. On a supposé que l'antenne de réception du SRD présentait un gain de 58 dBi dans l'axe de visée, et que le diagramme de rayonnement correspondait au diagramme de rayonnement de référence donné dans la Recommandation UIT-R S.672 pour une antenne à symétrie circulaire présentant un niveau de premier lobe latéral de -20 dB.

$$G(\varphi) = G_0 - 12 \left(\frac{\varphi}{\varphi_3} \right)^2 \quad \text{pour } 0 \leq \varphi \leq 1,29 \varphi_3 \quad (9a)$$

$$G(\varphi) = G_0 - 20 \quad \text{pour } 1,29 \varphi_3 < \varphi \leq 3,16 \varphi_3 \quad (9b)$$

$$G(\varphi) = G_0 - 20 - 25 \log \left(\frac{\varphi}{3,16 \varphi_3} \right) \quad \text{pour } 3,16 \varphi_3 < \varphi \text{ y } G(\varphi) \geq 0 \quad (9c)$$

$$G(\varphi) = 0 \quad \text{dans les autres cas} \quad (9d)$$

où:

G_0 : gain hors axe maximal (dBi)

$G(\varphi)$: gain hors axe (dB)

φ : angle hors axe (degrés)

φ_3 : ouverture de faisceau à 3 dB (degrés)

$$\varphi_3 = \sqrt{27\,000 \times 10^{-0,1G_0}} \quad (9e)$$

2.2 Distribution temporelle

Les caractéristiques temporelles des brouillages causés au système de réception d'un SRD peuvent aussi être déterminées par simulation informatique, mais on utilisera ici une simulation dynamique. Le § 2.1 décrit les caractéristiques techniques et d'exploitation des stations centrales du LMDS et le déploiement de ces stations pris pour hypothèse. On suppose qu'un SRD dont le système de réception présente les caractéristiques décrites au § 2.1 se trouve sur une position donnée de l'OSG et poursuit un satellite en orbite basse émettant en direction du SRD. Le satellite en orbite basse évolue sur une orbite de 400 km d'altitude qui est inclinée de $51,6^\circ$ par rapport au plan équatorial (caractéristiques orbitales types de la station spatiale internationale). Le cas de l'orbite d'un satellite d'observation de la Terre (EOS, *earth observing satellite*) à une altitude de 800 km avec un angle d'inclinaison de $98,6^\circ$ est également envisagé au § 4. On suppose que l'antenne de réception du SRD poursuit sans erreur le satellite en orbite basse par pas d'incrément de 1 s sur son orbite. Pour chaque position orbitale, les brouillages causés au système de réception du DRS par les émissions cumulatives de toutes les stations centrales du LMDS dans la zone de visibilité sont déterminés pour chaque période orbitale sur une période de 10 jours. On entend par période orbitale le laps de temps entre deux passages consécutifs du plan équatorial dans la direction sud-nord.

3 Résultats de l'étude A

La Fig. 1 montre la répartition mondiale des 431 zones de déploiement. Le § 3.1 présente les résultats de la distribution spatiale obtenus pour deux ensembles de positions orbitales des SRD. Les caractéristiques temporelles des brouillages sont données au § 3.2.

FIGURE 1

Emplacements des systèmes LMDS pris pour hypothèse



F.1509-01

3.1 Distributions spatiales

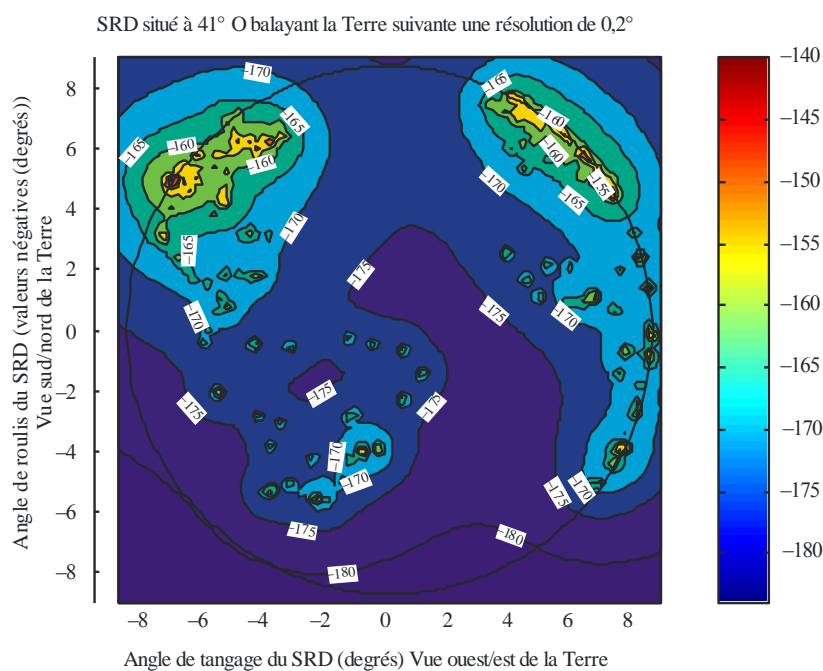
Les données ont été séparées en deux groupes. Le premier groupe comprend les positions orbitales des SRD devant être exploitées aux Etats-Unis d'Amérique. Un pas d'incrément de $0,2^\circ$ des angles de roulis et de tangage détermine la distribution spatiale des brouillages causés aux SRD situés à ces positions orbitales. Le second groupe contient toutes les positions orbitales des SRD indiquées dans la Recommandation UIT-R SA.1276 devant être protégées vis-à-vis des émissions des systèmes du SF.

3.1.1 SRD aux positions orbitales: 41° O, 174° O et 85° E de longitude

La Fig. 2 donne le diagramme de contour de la distribution spatiale des brouillages causés à un SRD géostationnaire situé à 41° O. On suppose que chaque station centrale du LMDS dans la zone de visibilité du SRD rayonne une densité spectrale de p.i.r.e. de $+8$ dB(W/MHz) dans le plan horizontal local. Un accroissement de 1 dB de la densité spectrale de p.i.r.e. de toutes les stations centrales provoquera une augmentation de 1 dB des brouillages subis par le SRD. Le brouillage atteint son niveau maximal de -139 dB(W/MHz) lorsque l'antenne du SRD présente des angles de pointage de 5° en roulis et de $-7,2^\circ$ en tangage et son niveau minimal inférieur à -180 dB(W/MHz) lorsque l'antenne de réception du SRD pointe vers le pôle Sud. Ces niveaux sont supérieurs de 9 dB, ou inférieurs de 32 dB, au niveau de protection donné dans la Recommandation UIT-R SA.1155. A supposer que la densité spectrale de p.i.r.e. de toutes les stations centrales soit de $+8$ dB(W/MHz), les brouillages subis par un SRD se produiront surtout lorsque le satellite orientera sa poursuite vers des satellites en orbite basse situés dans l'hémisphère Nord au voisinage du limbe de la Terre. Notons que la zone, dans laquelle le niveau de protection des SRD est dépassé, est relativement réduite et que ce niveau est respecté pour la plupart des positions de balayage.

FIGURE 2

Distribution spatiale des brouillages (dB(W/MHz)) causés à un SRD situé à 41° de longitude ouest, en prenant pour hypothèse 944 stations centrales à +8 dB(W/MHz) réparties dans 431 villes à travers le monde. Le grand cercle représente le disque terrestre. A noter que les niveaux de brouillage sont supérieurs au niveau de protection des SRD dans deux zones en Amérique du Nord et dans une zone en Europe

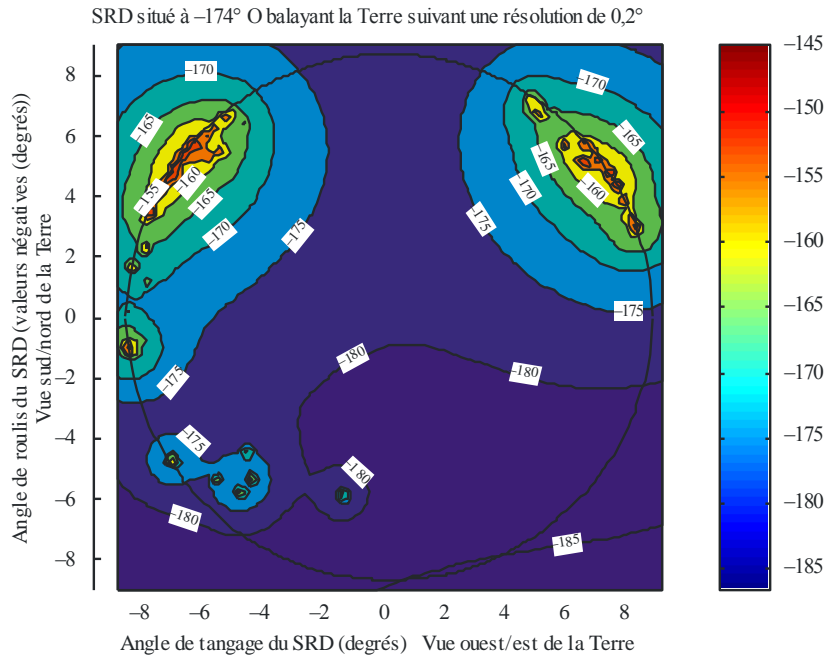


F.1509-02

Les Fig. 3 et 4 indiquent la distribution spatiale des brouillages causés respectivement aux SRD à 174° O et 85° E. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus à 41° O. Le niveau maximal de brouillage est de -144,9 dB(W/MHz) à 174° O et de -146,0 dB(W/MHz) à 85° E. Comme dans le cas de la position orbitale 41° O, les niveaux maximaux de brouillage sont atteints lorsque l'antenne de réception du SRD pointe vers les centres de population urbains situés sur le limbe de la Terre ou au voisinage de ce limbe.

FIGURE 3

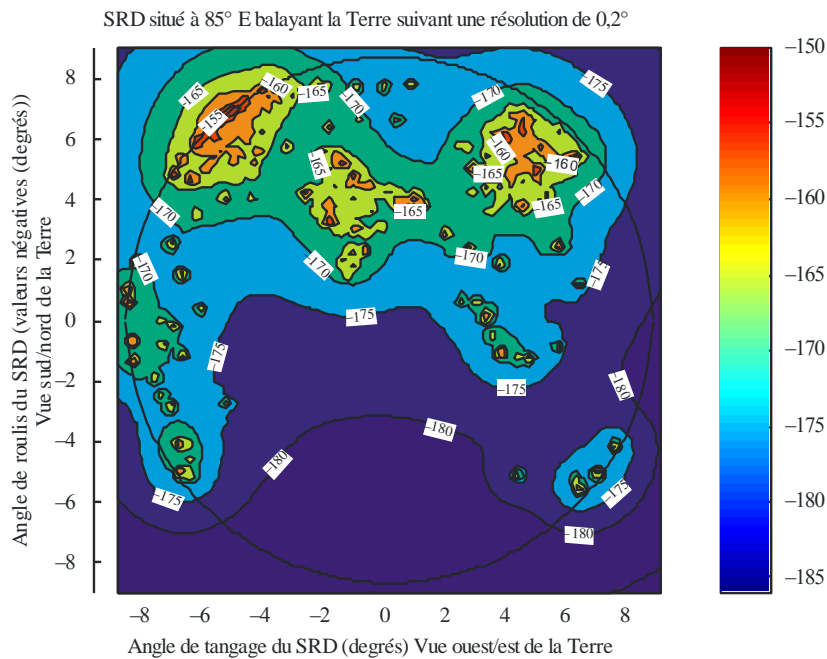
Distribution spatiale des brouillages (dB(W/MHz)) causés à un SRD situé à 174° de longitude ouest, prenant pour hypothèse 944 stations centrales à +8 dB(W/MHz) réparties dans 431 villes à travers le monde. Le grand cercle représente le disque terrestre



F.1509-03

FIGURE 4

Distribution spatiale des brouillages (dB(W/MHz)) causés à un SRD situé à 85° de longitude est, prenant pour hypothèse 944 stations centrales à +8 dB(W/MHz) réparties dans 431 villes à travers le monde. Le grand cercle représente le disque terrestre



F.1509-04

3.1.2 Positions orbitales de SRD indiquées dans la Recommandation UIT-R SA.1276

La Recommandation UIT-R SA.1276 donne une liste de 23 positions orbitales de SRD qui doivent être protégées, dans la mesure du possible (Recommandation UIT-R F.1249), contre les brouillages causés par des systèmes du SF dans la bande 25,25-27,5 GHz dont le niveau dépasse le niveau de protection des SRD. Le Tableau 1 présente les résultats de simulations des brouillages en crête pour chacune des positions orbitales indiquées dans la Recommandation UIT-R SA.1276. La résolution de balayage utilisée pour les angles de roulis et de tangage est de 0,2°. Le Tableau 1 montre aussi que la variabilité des niveaux de brouillage en crête mesuré par l'écart type calculé sur toutes les positions orbitales est inférieure à 4 dB, ce qui signifie que les niveaux de brouillage en crête varient assez peu d'une position orbitale à l'autre.

On trouvera au Tableau 1 les niveaux de brouillage en crête en provenance de la direction de balayage et le brouillage en crête total pour chaque position orbitale de satellite. La moyenne du brouillage en crête total est de -144,3 dB(W/MHz). Le brouillage maximal total subi à une position orbitale quelconque et pour toute direction de balayage est de -139 dB(W/MHz). Les brouillages en provenance de la zone de déploiement contribuant le plus au brouillage total en crête sont également indiqués.

Les simulations montrent que le brouillage en crête provenant de systèmes LMDS répartis sur une vaste zone est supérieur de 3 dB au brouillage occasionné par une seule zone de déploiement. Le Tableau 1 donne aussi un facteur de gain cumulatif, défini ici comme la différence en dB entre le brouillage en crête total et le brouillage causé par le brouilleur principal. La valeur moyenne de ce gain est de 2,5 dB. La simulation semble indiquer qu'en moyenne, le brouillage en crête total cumulatif ne dépasse pas de plus de 2,5 dB le brouillage causé par le centre de population urbain contribuant le plus au brouillage. On peut en conclure que la p.i.r.e. cumulative d'un centre urbain, c'est-à-dire la somme des p.i.r.e. rayonnées par chaque station centrale en direction d'une position orbitale donnée de SRD, peut être utilisée pour prévoir le brouillage en crête que subiront vraisemblablement les SRD sur la plupart des positions orbitales, en ajoutant 2,5 dB à la p.i.r.e. cumulative de ce centre urbain.

Il ressort du Tableau 1 que l'angle d'élévation moyen en direction du satellite du brouilleur principal est d'environ 7°. Le brouillage en crête n'est en aucun cas causé par une zone de déploiement sous un angle d'élévation observé inférieur à 1,5°.

Le Tableau 1 montre aussi que si l'antenne d'émission de la station centrale du LMDS présentait un affaiblissement additionnel pour des angles d'élévation supérieurs à environ 5°, le brouillage total reçu à plusieurs positions orbitales serait réduit d'une valeur proche de celle de l'affaiblissement additionnel de l'antenne. Ainsi, une conformation de l'antenne d'émission du LMDS dans le plan d'élévation peut être utile, dans certaines zones de déploiement, pour réduire les brouillages vers certaines positions orbitales de SRD.

Le Tableau 1 présente aussi les zones hydrométéorologiques, définies dans la Recommandation UIT-R P.837, du brouilleur principal. La puissance d'exploitation d'une station centrale dépend en principe des objectifs de disponibilité pour la liaison, de la distance de liaison et de la zone hydrométéorologique dans laquelle se trouve le système. On trouvera dans la Recommandation UIT-R F.758 certaines remarques relatives aux équipements dans la bande 25,25-27,5 GHz. La Note 8 du Tableau 17 de la Recommandation UIT-R F.758 indique que les systèmes exploités à une distance de 5 km et présentant pour chaque station centrale une densité spectrale de p.i.r.e. de +8 dB(W/MHz) peuvent fournir une marge de liaison de 37 dB. La Recommandation UIT-R F.755, en particulier le Tableau 8, montre qu'une marge de liaison de 37 dB à 5 km est suffisante pour obtenir une disponibilité de liaison de 0,9999 dans la zone hydrométéorologique K. Une marge de liaison de 37 dB est insuffisante pour obtenir une disponibilité de liaison de 0,9999 dans les zones hydrométéorologiques présentant un taux de précipitation supérieur à celui de la zone hydrométéorologique K. On peut donc en conclure provisoirement que les systèmes du LMDS situés

dans des zones hydrométéorologiques où le taux de précipitation est inférieur à celui de la zone K peuvent être exploités à une distance de 5 km avec une p.i.r.e. rayonnée par la station centrale inférieure à 8 dB(W/MHz) et que les brouillages causés au SRD pourraient être réduits. On peut aussi conclure que les systèmes fonctionnant dans les zones hydrométéorologiques où le taux de précipitation est supérieur à celui observé dans la zone K pourraient être soumis à des contraintes d'exploitation, pour certains déploiements, si la densité de p.i.r.e. de chaque station centrale était limitée à 8 dB(W/MHz) pour faciliter le partage avec les SRD.

TABLEAU 1

Récapitulatif des brouillages en crête dans la zone de visibilité directe du SRD, aux positions orbitales indiquées dans la Recommandation UIT-R SA.1279, en supposant la présence dans 431 villes réparties à travers le monde d'un total de 944 stations centrales fonctionnant chacune à +8 dB(W/MHz)

Position orbitale du satellite, longitude est (degrés)	Brouilleur principal, latitude nord (degrés)	Brouilleur principal, longitude est (degrés)	Stations centrales brouilleuses principales/ zone hydrométéorologique		p.i.r.e. de la zone brouilleuse principale rayonnant vers le SRD (dB(W/MHz))	Angle d'élévation observé entre le brouilleur principal et la direction du SRD (degrés)	Brouillages causés par le brouilleur principal (dB(W/MHz))	Brouillage en crête total lorsque le SRD pointe vers le brouilleur principal (dB(W/MHz))	Gain cumulatif (dB)
-174	32,833	-96,833	10	M	17,7	2,4	-144,6	-144,3	0,3
-171	32,833	-96,833	10	M	16,8	4,8	-143,0	-142,8	0,2
-170	39,133	117,200	5	H	13,8	4,8	-146,0	-142,0	4,0
-160	41,830	-87,750	16	K	18,9	4,6	-143,1	-141,1	2,0
-139	40,750	-74,000	35	K	17,9	10,2	-143,1	-140,9	2,2
-62	51,467	6,983	3	E	11,7	4,4	-148,3	-142,7	5,6
-49	34,000	-118,167	29	E	18,6	8,6	-140,2	-139,3	0,9
-46	34,000	-118,167	29	E	20,6	6,2	-140,3	-139,0	1,3
-44	34,000	-118,167	29	E	21,5	4,6	-140,2	-139,3	0,9
-41	34,000	-118,167	29	E	22,4	2,2	-140,3	-139,0	1,3
-32	40,750	-74,000	35	K	13,0	26,5	-145,7	-145,4	0,3
-16	42,330	-83,080	10	K	14,4	8,2	-145,7	-140,8	4,9
16,4	23,700	90,367	7	N	14,4	6,1	-146,6	-145,0	1,6
21,5	23,700	90,367	7	N	10,2	10,8	-149,3	-147,7	1,6
47	31,250	121,500	7	M	15,3	4,7	-145,6	-143,4	2,2
59	34,400	135,270	4	M	13,6	2,9	-151,1	-145,6	5,5
85	48,130	16,220	1	K	6,4	5,5	-153,9	-146,7	7,3
90	52,250	18,983	2	H	10,3	3,6	-150,2	-147,8	2,4
95	41,033	28,950	5	K	10,3	9,3	-151,6	-149,3	2,3
113	36,200	44,017	2	K	7,3	8,3	-154,9	-150,1	4,8
121	36,200	44,017	2	K	10,8	2,1	-151,4	-148,4	3,0
160	37,750	-122,500	10	D	17,9	1,5	-145,3	-143,8	1,5
177,5	34,000	-118,167	29	E	14,2	12,6	-146,4	-145,3	1,1
Maximum					14,2	26,5	-140,2	-139,0	7,2
Moyenne					14,7	6,7	-146,4	-144,3	2,5
Ecart type					4,4	5,3	4,4	3,4	1,9
Minimum					6,4	1,5	-154,9	-150,1	0,2

3.2 Distribution temporelle

Les caractéristiques temporelles des brouillages causés à des SRD poursuivant un satellite utilisateur en orbite basse ont été évaluées pour trois positions orbitales de SRD figurant dans la Recommandation UIT-R SA.1276 (41° O 174° O et 85° E). La station spatiale internationale est le satellite utilisateur en orbite basse pris pour hypothèse qui fonctionne à une altitude de 400 km avec un plan d'orbite incliné de 51,6° par rapport au plan de l'Equateur.

La simulation dynamique a été effectuée durant une période orbitale de 10 jours, avec un pas d'incrément de 1 s. A chaque pas, on a calculé le brouillage cumulatif causé par les émissions de toutes les stations centrales du LMDS dans la zone de visibilité; ces données ont ensuite été utilisées pour déterminer la fonction de distribution cumulative (CDF) des brouillages pendant cette période orbitale. Etant donné que 145 orbites ont été effectuées pendant ces 10 jours, on a obtenu 145 CDF pour chaque simulation dynamique. La Fig. 5 indique, pour un SRD situé à 41° O une famille de courbes de probabilités de dépassement du brouillage pour les différentes orbites consécutives du satellite utilisateur en orbite basse. Ces courbes correspondent à des niveaux de brouillage dépassés pendant 99%, 20% et 0,1% d'une période orbitale. On trouve en abscisse les différentes courbes de probabilité de dépassement par rapport au niveau de brouillage et en ordonnée l'heure de début à laquelle le satellite est dans la zone de visibilité du SRD. Une ligne verticale correspondant à un niveau de brouillage de -148 dB(W/MHz) est également indiquée sur la figure. Il ressort de la figure que les niveaux de brouillage sont supérieurs à -148 dB(W/MHz) sur 11 orbites. On constate de plus que la période entre deux orbites pendant laquelle le niveau de brouillage est supérieur à -148 dB(W/MHz) est comprise entre 7,7 h au minimum et 71 h au maximum. Les séries temporelles des périodes pendant lesquelles le niveau de brouillage est supérieur à -148 dB(W/MHz) sont tracées sur la Fig. 6. Il apparaît que la durée des brouillages dont le niveau est supérieur au niveau de protection est comprise entre moins de 10 s et moins de 60 s.

FIGURE 5

Caractéristiques temporelles des brouillages causés à un SRD situé à 41° O et poursuivant un satellite utilisateur en orbite basse sur une orbite type de la station spatiale internationale

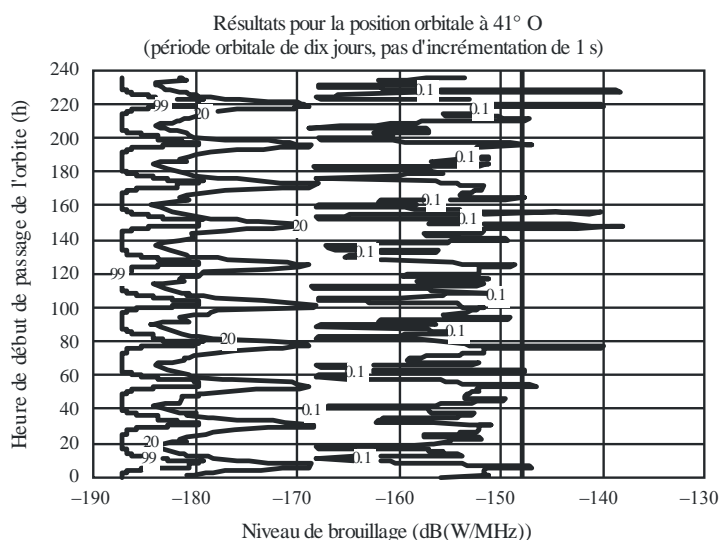
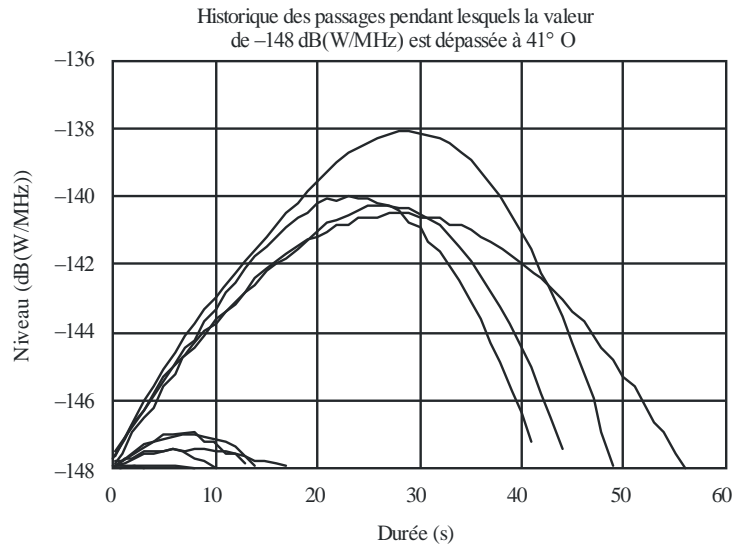


FIGURE 6

Exemples de brouillages causés à un SRD situé à 41° O et poursuivant un satellite utilisateur en orbite basse sur une orbite type de la station spatiale internationale (voir le § 3.2)

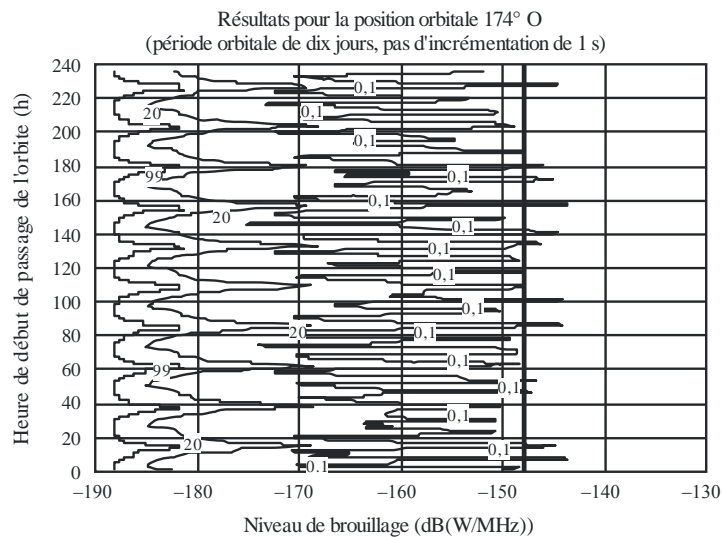


F.1509-06

La Fig. 7 donne des résultats comparables dans le cas d'un SRD situé à 174° O. A cette position, des brouillages supérieurs au niveau de protection seront causés sur 12 orbites pendant plus de 0,1% de la période orbitale. On constate de plus que la période entre deux orbites pendant laquelle le niveau de brouillage est supérieur à -148 dB(W/MHz) est comprise entre au moins 6,1 h et au plus 30,9 h. La Fig. 8 indique les séries temporelles de chaque période de brouillage. A cette position orbitale, la durée des brouillages dont le niveau dépasse le niveau de protection de -148 dB(W/MHz) est comprise entre 5 et 50 s.

FIGURE 7

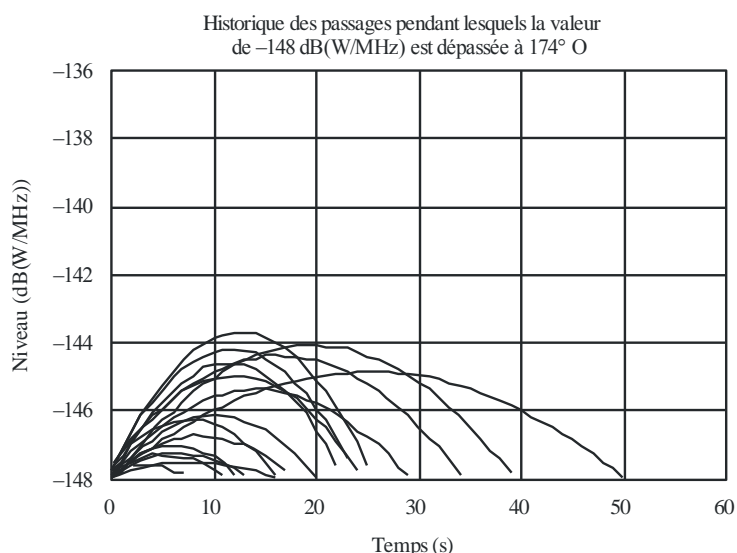
Caractéristiques temporelles des brouillages causés à un SRD situé à 174° O et poursuivant un satellite utilisateur en orbite basse sur une orbite type de la station spatiale internationale



F.1509-07

FIGURE 8

Exemples de brouillages causés à un SRD situé à 174° O et poursuivant un satellite utilisateur en orbite basse sur une orbite type de la station spatiale internationale (voir le § 3.2)

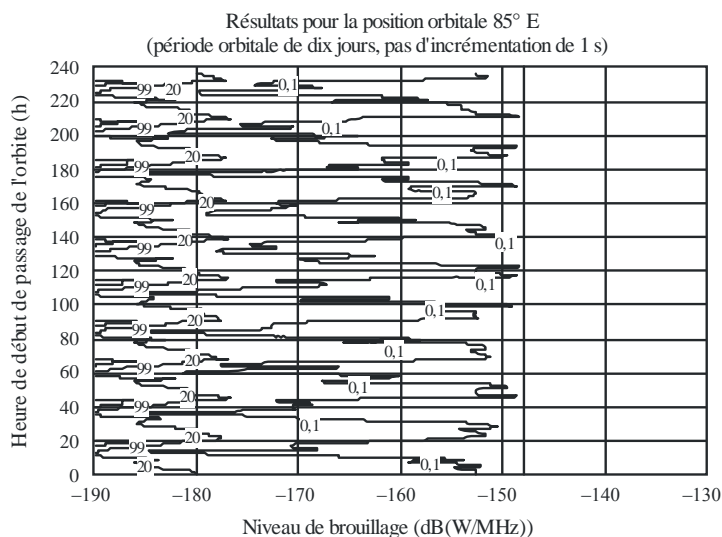


F.1509-08

La Fig. 9 illustre les caractéristiques temporelles des brouillages lorsque le SRD est à la position orbitale 85° E. On constate que les critères de protection de la Recommandation UIT-R SA.1155 sont satisfaits pour chaque orbite d'un satellite caractéristique de la station spatiale internationale.

FIGURE 9

Caractéristiques temporelles des brouillages causés à un SRD situé à 85° E et poursuivant un satellite utilisateur en orbite basse sur une orbite type de la station spatiale internationale



F.1509-09

On trouvera dans le Tableau 2 les résultats de la distribution temporelle.

TABLEAU 2

Tableau récapitulatif des résultats des caractéristiques temporelles des brouillages, *I*

Position orbitale du SRD	Nombre total d'orbites de satellite (~1,6 h/orbite)	Laps de temps entre deux orbites pendant lequel $I < -148$ dB(W/MHz) (h)	Nombre d'orbites de satellite pour - lesquelles $I > -148$ dB(W/MHz)	Orbites pour lesquelles $I > -148$ dB(W/MHz)		
				Durée pendant laquelle $I > -148$ dB(W/MHz) (s)	Pourcentage d'orbites pour lesquelles $I > -148$ dB(W/MHz)	Valeur de crête de $I^{(1)}$ (dB(W/MHz))
174° O	145	6,1 à 30,9	12	5 à 50	0,1 à 0,8	-143,8
41° O	145	7,7 à 71	11	10 à 60	0,2 à 1,0	-137,8
85° O	145	Données non communiquées	0	Données non communiquées	Données non communiquées	-148,3

⁽¹⁾ Les analyses temporelles et spatiales font apparaître de légères différences entre les niveaux de crête. Ces différences sont dues aux effets d'échantillonnage entre les analyses spatiale et temporelle, aux légères différences de modélisation concernant l'ouverture de faisceau à 3 dB relative au diagramme d'élévation de l'antenne de la station centrale, aux différences relatives à la contribution des lobes latéraux principaux du diagramme d'élévation, à la fréquence de fonctionnement et à la prise en compte des effets de courbure atmosphérique (Recommandation UIT-R F.1333) dans le modèle spatial.

En conclusion, pendant les quelques orbites pour lesquelles le niveau de brouillage dépasse -148 dB(W/MHz), la période pendant laquelle le niveau de protection d'un SRD placé à 41° O ou 174° O est dépassé varie d'un peu plus de 0,1% à environ 1% (cas le plus défavorable). Lorsque le SRD est placé à 85° E, le critère de protection de la Recommandation UIT-R SA.1155 est respecté.

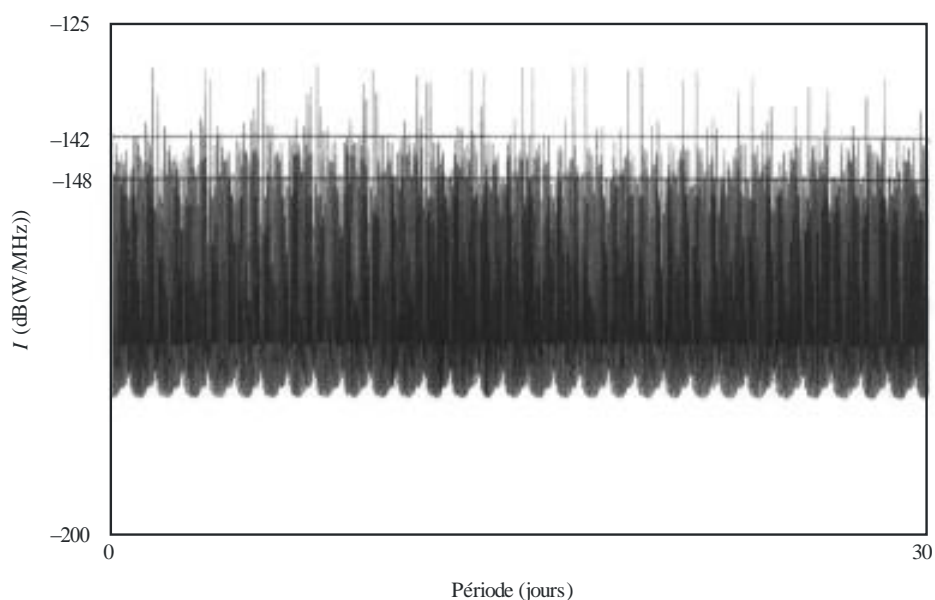
4 Résultats de l'Etude B

On trouvera ci-après les résultats des analyses temporelle et spatiale provenant d'une autre étude. On supposera que chaque station centrale rayonne une densité spectrale de p.i.r.e. de +14 dB(W/MHz); en effet, certains systèmes devront peut-être fonctionner avec une densité de p.i.r.e. supérieure à +8 dB(W/MHz). Deux satellites utilisateurs seront pris en compte: la station spatiale internationale (altitude orbitale de 400 km et inclinaison angulaire de 51,6°) et un satellite EOS (altitude orbitale de 800 km et inclinaison angulaire de 98,6°). On prendra pour hypothèse un critère de partage de -142 dB(W/MHz) au lieu du critère de protection de -148 dB(W/MHz).

4.1 Résultats de l'analyse temporelle

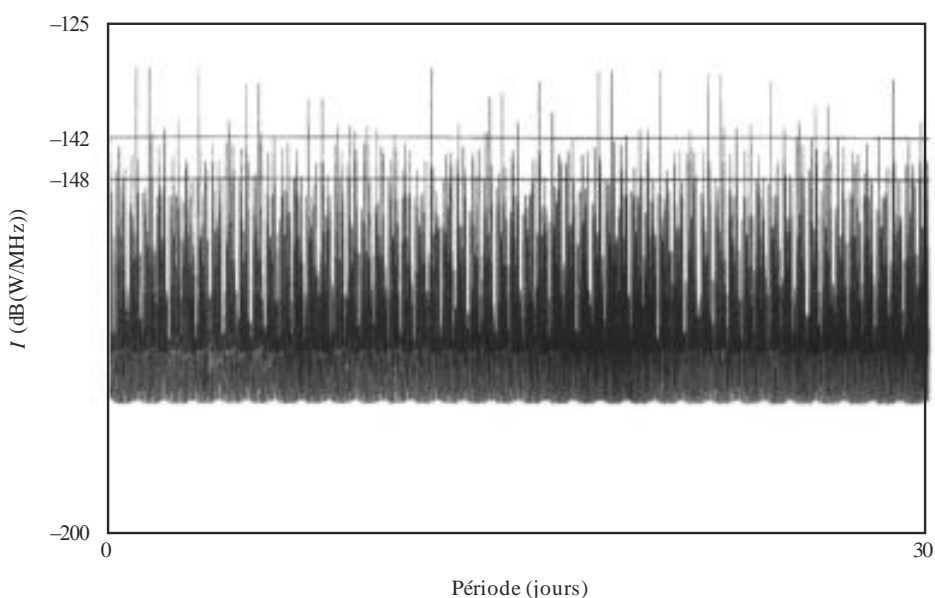
Pour cette analyse, on envisage le scénario de brouillage le plus défavorable, dans lequel le SRD est situé à 41° O. La Fig. 10 présente les émissions cumulatives rayonnées par des stations centrales du LMDS vers le SRD lorsque celui-ci poursuit la station spatiale internationale sur 30 jours avec un pas d'incrément de 5 s. Le cas du SRD poursuivant le satellite EOS est représenté à la Fig. 11.

FIGURE 10

Brouillages causés à un SRD situé à 41° O et poursuivant la station spatiale internationale

F.1509-10

FIGURE 11

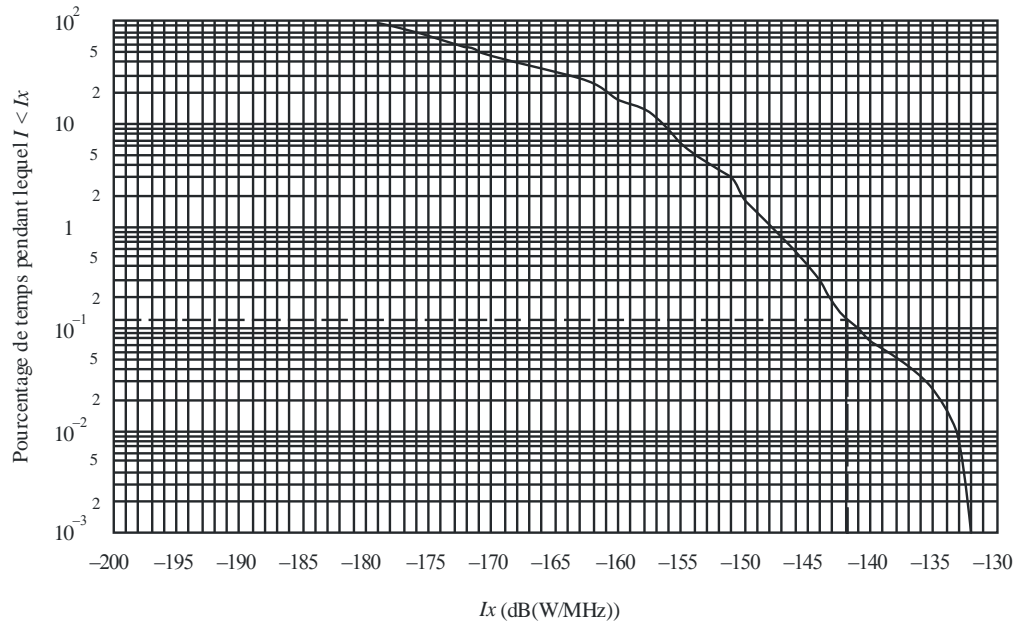
Brouillages causés à un SRD situé à 41° O et poursuivant le satellite EOS

F.1509-11

Ces deux figures montrent que la puissance des émissions provenant de déploiements LMDS utilisant une p.i.r.e. de +14 dB(W/MHz) par station centrale est souvent inférieure au critère de partage de -142 dB(W/MHz). Lorsque le SRD poursuit la station spatiale internationale, la puissance cumulative des émissions dépassant le critère de partage ne représente approximativement que 0,1% de la période totale de 30 jours (voir la Fig. 12). La Fig. 13 montre que ce chiffre tombe à 0,06% lorsque le SRD poursuit le satellite EOS. A noter que l'on peut connaître à l'avance les emplacements sur Terre à l'origine de ces perturbations et aisément les identifier par simulation.

FIGURE 12

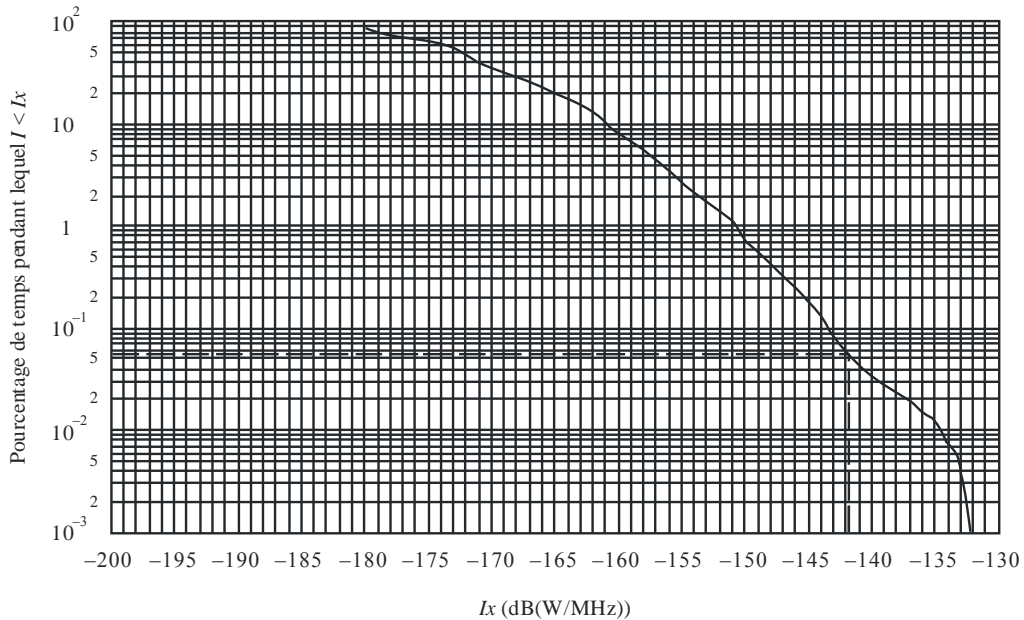
Brouillage cumulatif causé au système SRD à 41° O poursuivant la station spatiale internationale sur une période de 30 jours



F.1509-12

FIGURE 13

Brouillage cumulatif causé au système SRD à 41° O poursuivant le satellite EOS sur une période de 30 jours



F.1509-13

Les résultats ci-dessus concordent avec les conclusions de l'analyse spatiale ci-après.

4.2 Résultats de l'analyse spatiale

Les résultats de l'analyse spatiale sont donnés pour trois positions orbitales du SRD, à savoir 41° O, 174° O et 85° E. Les positions 41° O et 174° O correspondent au scénario le plus défavorable, la position 85° E constituant un cas typique de présence de brouillage. Notons que la valeur du critère de partage n'est jamais dépassée pour de nombreux créneaux orbitaux.

La Fig. 14 donne le profil spatial des brouillages causés par des émissions du LMDS à un SRD à 41° O. On constate que les émissions dont la puissance dépasse le critère de partage -142 dB(W/MHz) sont concentrées autour de certains emplacements que l'on peut connaître à l'avance. Les Fig. 15 et 16 illustrent le cas des positions orbitales 174° O et 85° E.

FIGURE 14

Profil spatial des brouillages dans le cas d'un SRD à 41° O

SRD géostationnaire placé à 41° O, $\epsilon_k = 0$, rés. = 0,2, 8 dB(W/MHz),
431 zones de service du LMDS, 944 stations centrales à travers le monde

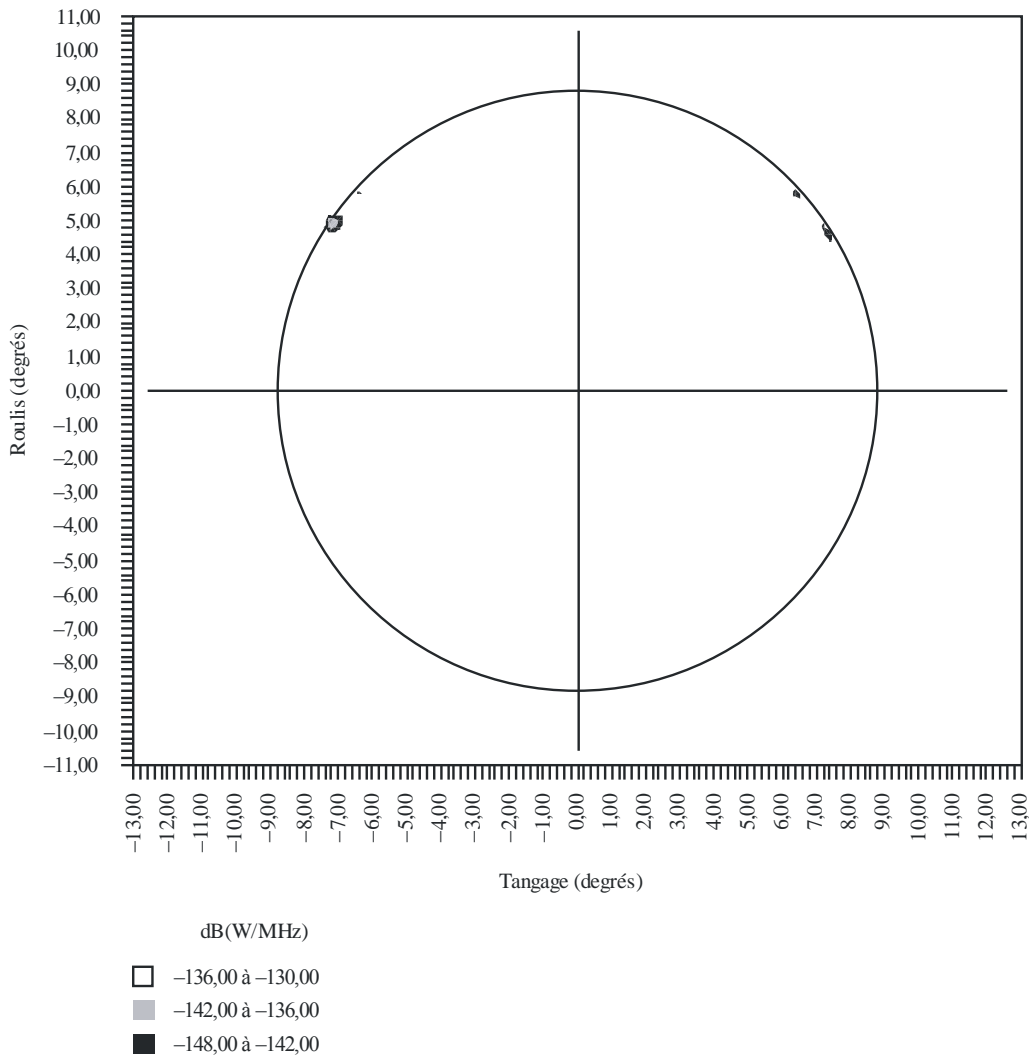


FIGURE 15

Profil spatial des brouillages dans le cas d'un SRD à 174° O

SRD géostationnaire placé à 174° O $\alpha_k = 0$, rés. = 0,2, 8 dB(W/MHz), 431 zones de service du LMDS
 944 stations centrales à travers le monde

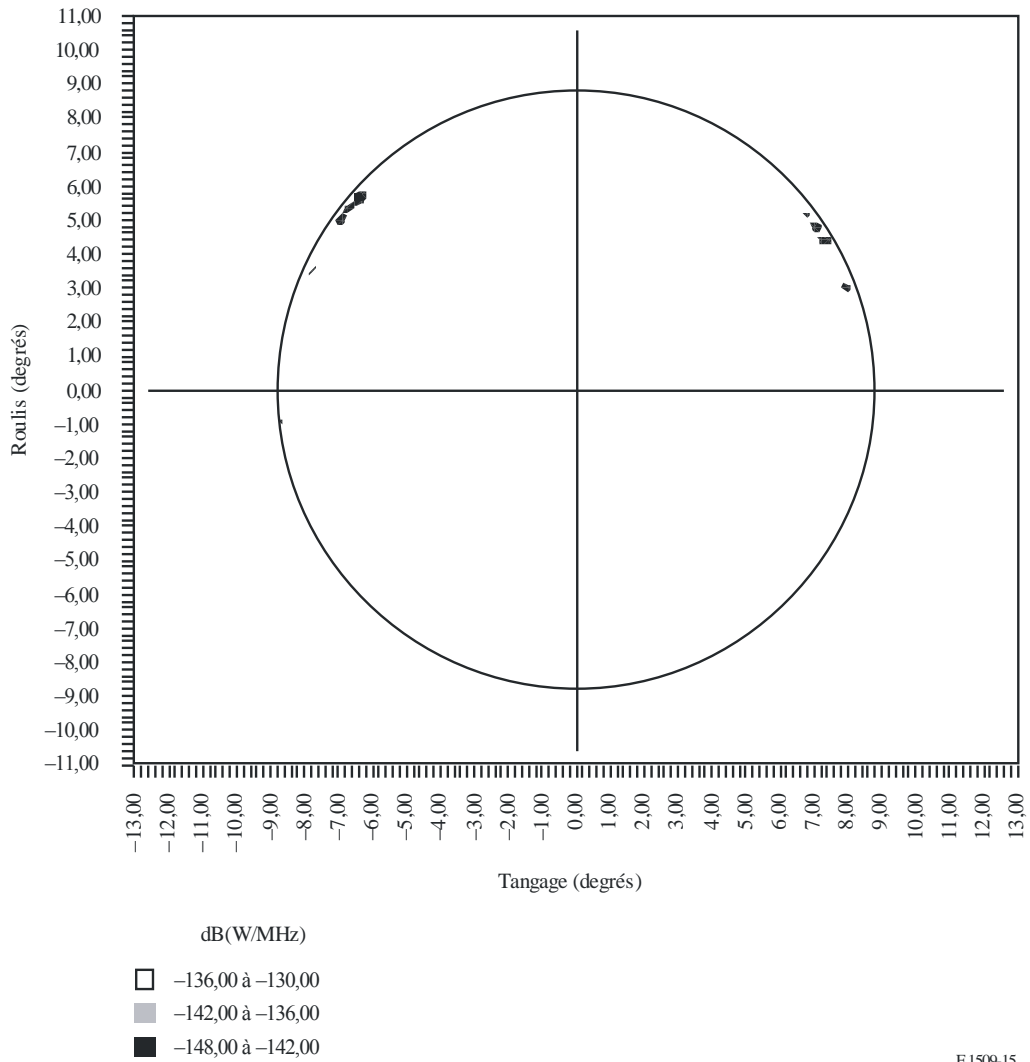
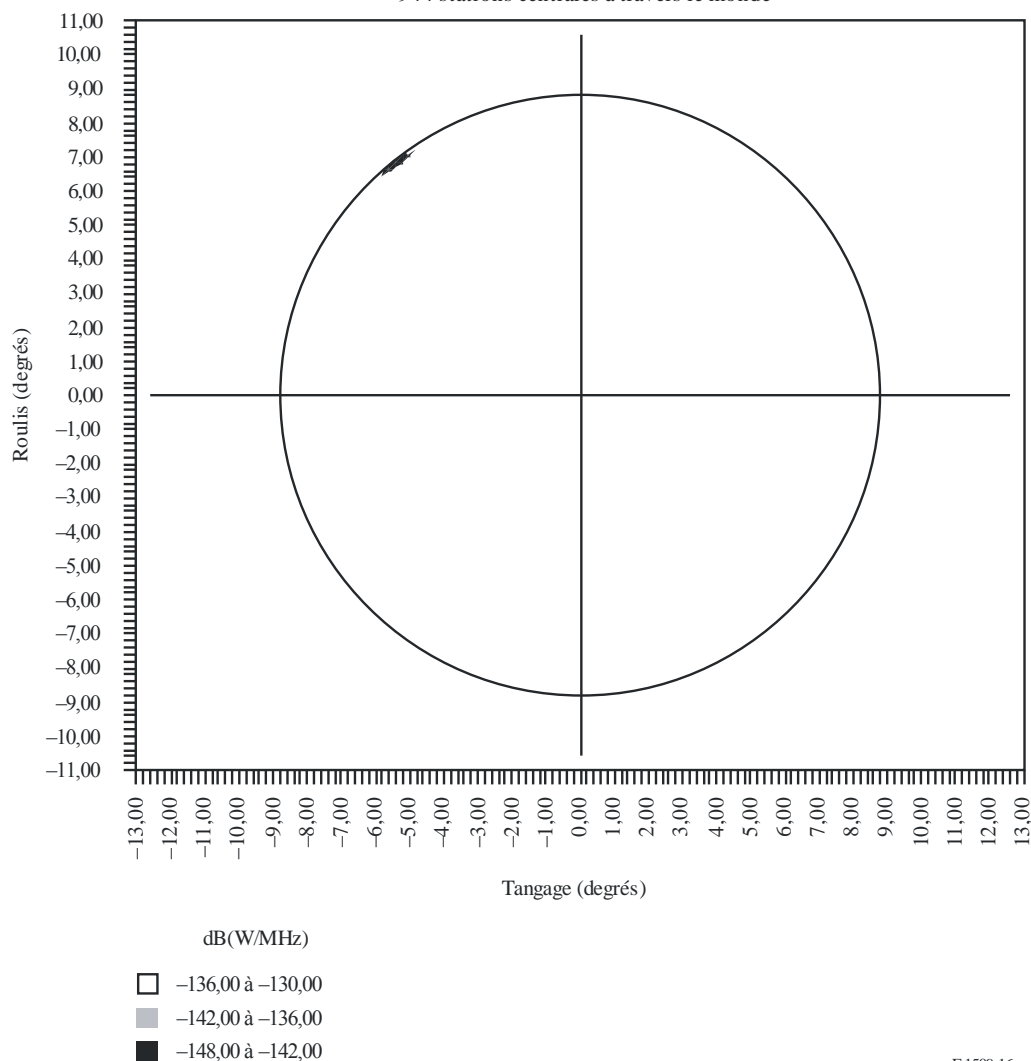


FIGURE 16

Profil spatial des brouillages dans le cas d'un SRD à 85° E

SRD géostationnaire placé à 85° E, $E_k = 0$, rés. = 0,2, 8 dB(W/MHZ), 431 zones de service du LMDS
944 stations centrales à travers le monde



F.1509-16

A noter que les graphiques ci-dessus sont fondés sur des simulations pour lesquelles on a utilisé la valeur $k=0$ pour les diagrammes de rayonnement d'antenne (voir la Recommandation UIT-R F.1336). Des simulations effectuées en choisissant la valeur $k=1$ (niveaux plus élevés des lobes latéraux) ont montré que le profil global des brouillages restait à peu près constant, ce qui indique que la contribution des lobes latéraux est négligeable.

4.3 Analyse des résultats (§ 4)

Il ressort de cette analyse qu'un critère de partage de -142 dB(W/MHz) permet d'assurer le partage entre les deux services sans leur imposer de contraintes excessives. A la différence des critères de protection, les critères de partage doivent tenir compte des spécificités de chaque service dans la bande et de la nécessité de répondre aux besoins de ces services. Dans le cas d'un SRD utilisant la bande 25,25-27,5 GHz en partage des systèmes P-MP du SF, plusieurs éléments modérateurs permettraient d'appliquer un critère de partage de -142 dB(W/MHz). Ainsi:

- Comme on l'a vu, les systèmes d'antennes sectorielles avec inclinaison du faisceau vers le bas seront couramment utilisés pour les déploiements P-MP. Ces systèmes nécessiteront un niveau important de sectorisation pour limiter les brouillages intrasystèmes et obtenir des niveaux de réutilisation des fréquences répondant aux besoins des entreprises.

- Les émissions dont la puissance dépasse effectivement le critère de partage proviennent d'emplacements terrestres que l'on peut connaître à l'avance, ce qui permet de prendre des mesures à priori pour éviter les brouillages.
- L'utilisation de la bande 25,25-27,5 GHz par le SF varie d'une administration à l'autre. Dans certains pays, les opérateurs exploitent des systèmes point à point alors que dans d'autres, ils utilisent à la fois des systèmes point à point et des systèmes P-MP (certains opérateurs de réseaux large bande utilisent plusieurs systèmes point à point à partir d'un site central). De plus, les plans de fréquences actuels permettent de mettre en oeuvre des systèmes point à point et P-MP très divers. Ainsi, le niveau de puissance d'émission cumulative rayonnée par des systèmes multipoint vers des systèmes SRD est sans doute nettement inférieur à celui défini dans la présente étude.

5 Généralisation à d'autres déploiements du LMDS

Les résultats présentés aux § 3 et 4 reposent sur certaines hypothèses relatives au rayon de la cellule du LMDS. Le présent paragraphe décrit un moyen simple de généraliser les résultats à des déploiements du LMDS utilisant des cellules plus petites.

En règle générale, des cellules de plus petite taille conduiront à un plus grand nombre de cellules dans une configuration bien établie de systèmes du LMDS dans des centres de population urbains. Du fait de cette taille réduite, la p.i.r.e. de la station centrale nécessaire pour fournir la même marge de liaison à l'abonné le plus éloigné diminuera au carré de la distance, dans l'hypothèse d'une propagation en visibilité directe. Ainsi, la diminution relative de la densité spectrale de p.i.r.e. pour des cellules plus petites que la cellule de référence est donnée par l'expression:

$$\Gamma_i = 20 \log \left(\frac{r_i}{r_0} \right) \quad (10)$$

où:

Γ_i : facteur de réduction de la densité spectrale de p.i.r.e. pour la $i^{\text{ème}}$ cellule (dB)

r_i : rayon de la $i^{\text{ème}}$ cellule (km)

r_0 : rayon de la cellule de référence, c'est-à-dire 5 km.

L'application du facteur de réduction est simple. Supposons par exemple que la cellule de référence de 5 km de rayon présente une densité spectrale de p.i.r.e. de +8 dB(W/MHz). Lorsque le rayon de la cellule est ramené à 2,5 km, la densité spectrale de p.i.r.e. sera ramenée à +2 dB(W/MHz).

L'application de cette méthode limitera en général la densité spectrale de p.i.r.e. cumulative rayonnée par un centre urbain quelconque à un niveau indépendant de la taille de la cellule.

Pour de nombreuses configurations du SF, l'objectif du déploiement sera de maintenir une disponibilité de liaison constante par opposition à une marge de liaison constante en fonction de la variation de la distance par rapport à l'abonné le plus éloigné. Selon les méthodes de la Recommandation UIT-R P.530, pour une disponibilité de liaison donnée, la marge de liaison nécessaire diminue proportionnellement à la distance de la liaison. L'équation (10) fournit donc une estimation prudente de la réduction de la densité spectrale de p.i.r.e. en fonction de la réduction de la taille de la cellule.

6 Brouillages causés aux systèmes POCS

Dans le cas des systèmes POCS, le scénario de brouillage est analogue à celui du SRD, en ce sens que les émissions dans le même canal du LMDS parviennent aux antennes de réception des systèmes POCS à mesure que le satellite effectue son orbite autour de la Terre.

6.1 Caractéristiques des systèmes du LMDS

Pour l'analyse des systèmes POCS, on a pris pour hypothèse les caractéristiques décrites au § 2.1 pour le LMDS, avec une densité spectrale de p.i.r.e. de +14 dB(W/MHz).

6.2 Caractéristiques des systèmes POCS

Deux types d'utilisateurs de systèmes POCS ont été pris en compte dans cette analyse: la station spatiale internationale et la navette spatiale orbitale. On suppose que chaque système POCS utilise une antenne à gain élevé et une antenne à faible gain. Le Tableau 3 récapitule les caractéristiques des systèmes POCS.

TABLEAU 3
Caractéristiques des systèmes POCS

Utilisateur	Orbite		Antenne de réception	
	Altitude (km)	Inclinaison (degrés)	Gain (dBi)	Direction de pointage
Station spatiale internationale	400	51,6	3,5 23,5	Nadir Suivant le vecteur vitesse
Navette spatiale orbitale	530	57	3,5 23,5	Nadir Suivant le vecteur vitesse

Dans le cas de l'antenne à faible gain, on a pris pour hypothèse une antenne équidirective, par opposition à une antenne avec une ouverture de faisceau à mi-puissance correspondant à un cône plein de 244° (cas le plus défavorable). Dans le cas de l'antenne à gain élevé, on a utilisé une antenne de réception avec une ouverture de faisceau à mi-puissance de 8°, dont le diagramme de rayonnement de référence figure dans la Recommandation UIT-R S.672 ($L_s = -20$ dB). On suppose que les systèmes POCS utilisent une polarisation circulaire.

Le critère de protection du récepteur est de -147 dB(W/MHz) pendant 0,1% du temps au plus, conformément à la Recommandation UIT-R SA.609.

6.3 Méthode

Les systèmes POCS ont fait l'objet d'une analyse temporelle sur une période de simulation de 30 jours. Les données ont été recueillies toutes les 5 s.

Comme dans le cas des SRD, on a calculé l'absorption atmosphérique sur la base de la Recommandation UIT-R P.676, avec un affaiblissement de 3 dB pour tenir compte de la différence de polarisation.

6.4 Résultats

Les Figures ci-après indiquent les niveaux d'émission rayonnés par les systèmes LMDS en direction des deux antennes de réception des deux systèmes POCS sur une période de 30 jours.

FIGURE 17

Brouillage cumulé causé à un système POCS sur une période de 30 jours lorsque l'utilisateur est la station spatiale internationale

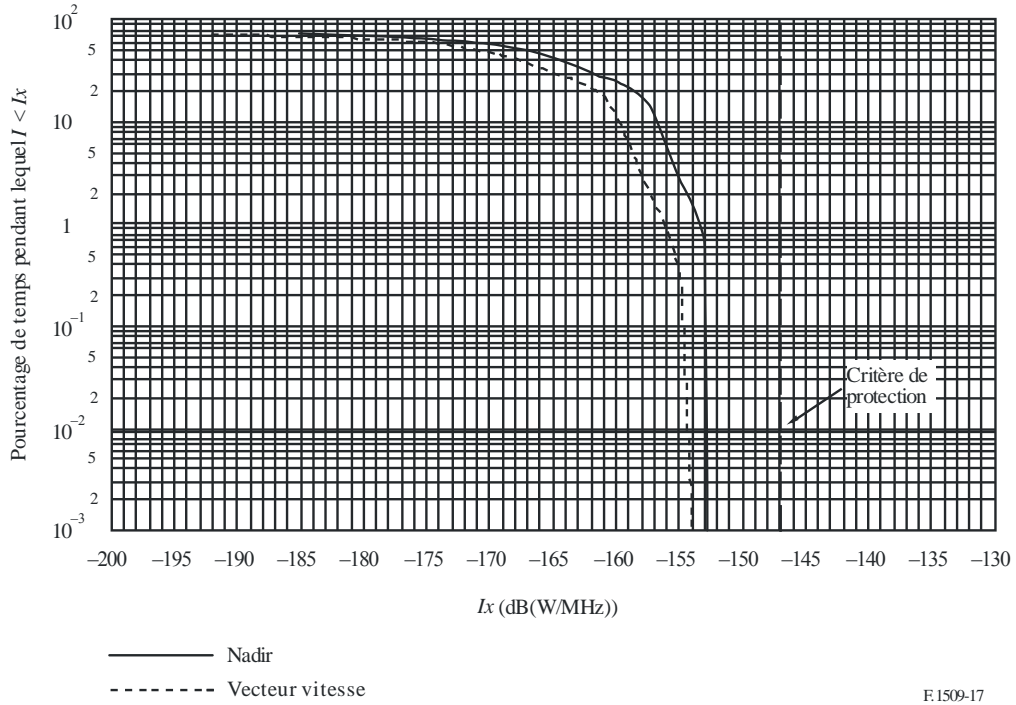
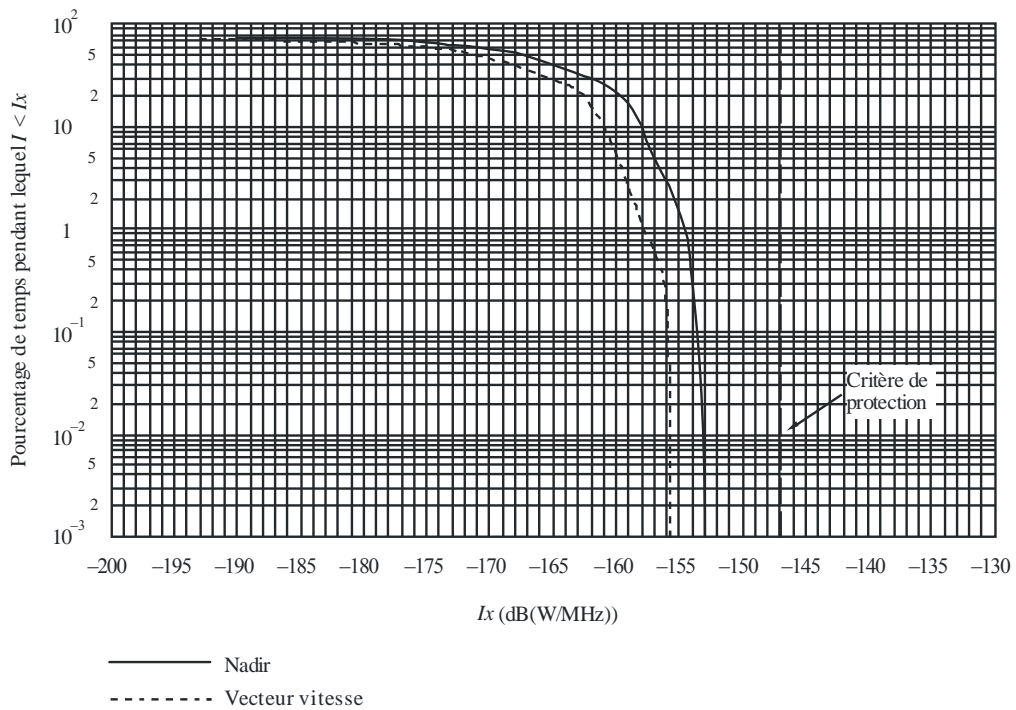


FIGURE 18

Brouillage cumulé causé à un système POCS sur une période de 30 jours lorsque l'utilisateur est la navette spatiale orbitale



On constate que le niveau de brouillage causé à l'une quelconque des antennes de réception du système POCS est nettement inférieur, en permanence, au critère de protection de -147 dB(W/MHz).

7 Résumé et conclusions de l'Annexe 1

Il ressort des résultats de l'Etude A du § 3 que la plupart des SRD occupant les positions orbitales énumérées dans la Recommandation UIT-R SA.1276, subiront un brouillage en crête total supérieur d'environ 4 dB en moyenne au niveau de protection donné par la Recommandation UIT-R SA.1155 dans quelques zones de déploiement du LMDS. Cette conclusion repose sur l'hypothèse suivante: chaque station centrale fonctionne avec une densité spectrale de p.i.r.e. de +8 dB(W/MHz) et se trouve dans une zone de service de 5 km de rayon. Le brouillage en crête total pour toutes les positions orbitales était de -139 dB(W/MHz).

La plupart des orbites satisfont, du point de vue temporel, au niveau de protection donné dans la Recommandation UIT-R SA.1155. Dans le cas des quelques orbites pour lesquelles le niveau de protection est dépassé, la durée de ce dépassement est comprise entre un peu plus de 0,1% et environ 1% de la période orbitale lorsque les SRD sont placés à 41° O ou 174° O (cas le plus défavorable). De plus, pour ces positions orbitales, le laps de temps entre deux périodes orbitales durant lequel le niveau de brouillage dépasse -148 dB(W/MHz) est compris entre 6,1 et 71 h. Dans le cas d'un SRD placé à 85° E, le niveau de brouillage satisfait aux critères de protection donnés dans la Recommandation UIT-R SA.1155 pour toutes les orbites de satellite caractéristiques de la station spatiale internationale.

On a introduit un facteur de réduction (voir l'équation (10)) qui suppose une marge de liaison constante, afin de pouvoir déterminer les limites de densité spectrale de p.i.r.e. pour des cellules dont la taille est inférieure à celle de la cellule de référence (c'est-à-dire 5 km dans la présente étude).

Comme indiqué au § 3 et sur les Fig. 2 à 4, les principales sources de brouillage subi par les SRD sont les centres de population urbains comptant plusieurs stations centrales qui partagent la même fréquence et se trouvent sur le limbe de la Terre ou au voisinage de ce limbe. Cependant, compte tenu du nombre de stations centrales P-MP du LMDS qu'il est prévu de déployer à l'aide de la méthode décrite au § 3 et avec une densité spectrale de p.i.r.e. de +8 dB(W/MHz) par secteur de station centrale, le niveau de protection n'est dépassé que dans quelques zones géographiques et le partage est possible.

Les résultats de l'Etude B (§ 4) montrent que dans l'hypothèse d'une densité spectrale de p.i.r.e. de +14 dB(W/MHz) par station centrale, soit 6 dB de plus que dans l'hypothèse de l'Etude A, le niveau de brouillage est également supérieur d'environ 6 dB à celui de l'Etude A. Les résultats de deux études sont donc pratiquement équivalents.

Annexe 2

Méthode de calcul de séparations angulaires entre les faisceaux d'antenne de stations centrales et les directions des SRD géostationnaires

L'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R F.1249 expose une méthode de calcul des séparations angulaires entre les faisceaux d'antenne d'émission du SF point à point et les directions des satellites relais de données géostationnaires mis en orbite comme indiqué dans la Note 1 du corps du texte de la présente Recommandation, compte tenu des effets de réfraction dans l'atmosphère et de l'horizon local. Une station centrale d'un réseau P-MP du SF utilise une antenne équidirective ou sectorielle. Il faut considérer en l'occurrence que le gain d'antenne est indépendant de la direction azimutale du SRD. Dans l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R F.1249, ε_r est l'angle d'élévation du gain maximal (dans le plan d'élévation) de l'antenne de la station centrale (à noter que $\varepsilon_r = 0^\circ$ si l'on choisit de ne pas incliner le faisceau et que ε_r est négatif si le faisceau est incliné vers le bas).

L'angle d'élévation ε_s du SRD est donné par les équations (8a), (8b) et (8c) de l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R F.1249. Lorsque le SRD est visible, la séparation angulaire entre le faisceau d'antenne d'une station centrale et la direction de la position d'un SRD est donnée par la valeur absolue $|\varepsilon_s - \varepsilon_r|$.
