

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R F.1247-4
(09/2015)

**Caractéristiques techniques et
opérationnelles des systèmes du service fixe
propres à faciliter le partage avec les
services de recherche spatiale,
d'exploitation spatiale et d'exploration
de la Terre par satellite fonctionnant dans
les bandes 2 025-2 110 MHz
et 2 200-2 290 MHz**

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 radiorepérage 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, 2016

© UIT 2016

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.1247-4*

**Caractéristiques techniques et opérationnelles des systèmes du service fixe
propres à faciliter le partage avec les services de recherche spatiale,
d'exploitation spatiale et d'exploration de la Terre par satellite
fonctionnant dans les bandes 2 025-2 110 MHz
et 2 200-2 290 MHz**

(Question UIT-R 118/7)

(1997-2000-2009-2013-2015)

Domaine d'application

La présente Recommandation fournit les caractéristiques opérationnelles des systèmes du service fixe propres à faciliter le partage avec les systèmes des services scientifiques spatiaux fonctionnant dans les bandes 2 025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz. Elle indique, entre autres, les positions orbitales des satellites géostationnaires vers lesquels les émissions devraient être limitées.

Mots clés

Densité spectrale, p.i.r.e., positions orbitales, satellites relais de données

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les bandes 2 025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz sont attribuées dans le RR aux services fixe, mobile, de recherche spatiale, d'exploitation spatiale et d'exploration de la Terre par satellite, à titre primaire;
- b) que divers systèmes point à point et point à multipoint du service fixe sont exploités dans la gamme 1-3 GHz, et que ces systèmes sont décrits dans les Recommandations UIT-R F.758 et UIT-R M.1143;
- c) que par suite de la Conférence administrative mondiale des radiocommunications chargée d'étudier les attributions de fréquences dans certaines parties du spectre (Malaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92), d'autres services ont obtenu des attributions dans la gamme 1-3 GHz, ce qui a provoqué des incompatibilités de partage avec le service fixe;
- d) que les services de recherche spatiale, d'exploitation spatiale et d'exploration de la Terre par satellite sont exploités de manière satisfaisante depuis de nombreuses années avec le service fixe dans les bandes 2 025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz, mais que, au cas où un grand nombre de systèmes du service fixe seraient introduits, il importerait d'identifier pour ces systèmes des caractéristiques techniques et opérationnelles préférées afin d'assurer une compatibilité à long terme;
- e) que les services de recherche spatiale, d'exploitation spatiale et d'exploration de la Terre par satellite exploitent des liaisons de radiocommunication espace-espace dans les bandes 2 025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz, liaisons qui complètent respectivement les liaisons Terre vers espace et espace vers Terre de ces services;

* Cette Recommandation a été établie conjointement par les Commissions d'études 7 et 5 des radiocommunications et toute révision future devrait être entreprise conjointement.

- f) que ces liaisons, et notamment les liaisons espace-espace des réseaux à satellite relais de données (SRD), sont conçues pour fonctionner avec des marges de l'ordre de 2 à 4 dB;
- g) que les critères de protection applicables aux liaisons Terre vers espace et espace vers Terre sont exposés dans les Recommandations UIT-R SA.363 et UIT-R SA.609, tandis que les critères de protection applicables aux liaisons des SRD sont définis dans les Recommandations UIT-R SA.1155 et UIT-R SA.1274;
- h) que le nombre des systèmes du service fixe exploités dans ces bandes peut augmenter au point de rendre nécessaire, dans la pratique, l'application de critères de partage moins rigoureux que les valeurs définies dans la Recommandation UIT-R SA.1155 (voir la Recommandation UIT-R SA.1274);
- j) 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;
- k) qu'un petit nombre de réseaux à SRD (décrits dans la Recommandation UIT-R SA.1018) sont déjà exploités ou en passe de l'être sur l'orbite des satellites géostationnaires (la liste de ces systèmes figurant dans la Recommandation UIT-R SA.1275);
- l) 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 exercées sur le service fixe, tout particulièrement pour les stations situées à haute altitude;
- m) que les études résumées dans l'Annexe 1 font apparaître qu'il est possible, dans le service fixe, d'utiliser certains moyens techniques, pour réduire les risques de brouillage inacceptable pour les services de recherche spatiale, d'exploitation spatiale et d'exploration de la Terre par satellite,

recommande

1 de faire en sorte que les stations du service fixe exploitées dans les bandes 2 025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz, lorsque cela sera possible:

1.1 soient dotées d'une commande automatique de puissance d'émission (CAPE), avec une puissance moyenne inférieure d'au moins 10 dB à la puissance maximale de l'émetteur;

1.2 émettent à la valeur de densité spectrale de puissance la plus faible envisageable dans la pratique;

1.3 utilisent des antennes d'émission à diagramme de rayonnement favorable, compte-tenu de la Recommandation UIT-R F.699;

2 de faire en sorte, dans la mesure du possible, que les stations point à point du service fixe exploitées dans la bande 2 200-2 290 MHz ne rayonnent pas une densité spectrale de p.i.r.e. supérieure à +8 dB(W/MHz) en direction des positions de satellite relais de données géostationnaire définies dans la Recommandation UIT-R SA.1275 (voir les Notes 2 et 6);

2.1 de considérer que, en faisant exception au *recommande 2*, l'on pourra porter la densité spectrale de p.i.r.e. des stations du service fixe à CAPE à des valeurs supérieures à +8 dB(W/MHz) dans la direction de la position du SRD géostationnaire considéré pendant moins de 0,1% du mois considéré (voir les Notes 7 et 8);

2.2 de faire en sorte que les stations du service fixe qui ne peuvent pas se conformer aux dispositions du *recommande 2* soient exploitées dans la partie inférieure de la bande 2 200-2 290 MHz (voir la Note 8);

3 de faire en sorte, dans la mesure du possible, que les stations point à multipoint du service fixe exploitées dans les bandes 2 025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz:

3.1 évitent de rayonner une densité de p.i.r.e. dépassant, par liaison, 5 dB(W/MHz), valeur applicable aux stations centrales et aux stations périphériques des systèmes à forte puissance et faible densité, pendant plus de 0,1% du mois considéré, compte tenu de la CAPE (voir les Notes 1, 2, 3, 4, 5 et 7);

3.2 dans le cas des stations centrales, soient dotées d'antennes d'émission équidirectives à gain minimal au-dessus du plan horizontal.

NOTE 1 – Le point 2 du *recommande* s'applique également aux liaisons point à point entre systèmes point à multipoint ou à l'intérieur de tels systèmes.

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 dans la direction du satellite. Du fait que l'on ne dispose pas de diagrammes de rayonnement pour les antennes utilisées dans le service fixe, on appliquera le diagramme de rayonnement de référence de la Recommandation UIT-R F.699. Le calcul tiendra compte des effets de la réfraction atmosphérique et de l'horizon local. Pour une méthode de calcul des angles de séparation, se reporter à l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R F.1249.

NOTE 3 – Le point 2 du *recommande* s'applique également aux stations périphériques de systèmes point à multipoint utilisant des antennes directives de gain maximal supérieur à 14 dBi.

NOTE 4 – Dans le cas d'un système point à multipoint à forte puissance et faible densité exploité en mode de transmission intermittent (AMRT, etc.), les stations périphériques peuvent accroître leur densité de p.i.r.e. d'un certain pourcentage, qui dépend du nombre d'abonnés raccordés aux stations périphériques relevant d'une même station centrale mais à hauteur de 9 dB(W/MHz) au maximum (voir le § 3.7 de l'Annexe 1).

NOTE 5 – Le point 3.1 du *recommande* s'applique avant tout aux systèmes à faible densité. Pour les systèmes à forte densité, les niveaux de puissance appropriés sont moins élevés. Par exemple, les paramètres d'un système à faible puissance utilisé par au moins une administration correspondent à des densités types de p.i.r.e. (sans évanouissement) par liaison de l'ordre de -5 dB(W/MHz) pour les stations centrales et de -14 dB(W/MHz) pour les stations périphériques, compte tenu de la CAPE lorsqu'elle est envisageable.

NOTE 6 – La Recommandation UIT-R SA.1275-4 énumère les positions orbitales suivantes pour les SRD géostationnaires:

10,6° E, 16,4° E, 16,8° 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 et 177,5° E, 12° O, 16° O, 32° O, 41° O, 44° O, 46° O, 49° O, 62° O, 79° O, 139° O, 160° O, 164,2° O, 167,5° O, 170° O, 171° O et 174° O.

Lorsque la Recommandation UIT-R SA.1275 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.1275 révisée.

NOTE 7 – Il convient de noter que les pourcentages de temps indiqués aux points 2.1 et 3.1 du *recommande* ne correspondent pas directement aux critères de partage et définis par référence à des pourcentages de temps dans le cas de SRD dans la Recommandation UIT-R SA.1274.

NOTE 8 – Une station du service fixe à CAPE qui ne peut pas se conformer aux dispositions du *recommande* 2.1 devrait, dans la mesure du possible, être exploitée dans la partie inférieure de la bande 2 200-2 290 MHz, de préférence dans la bande 2 200-2 245 MHz, et la densité spectrale

de p.i.r.e. (dans la direction de la position du SRD géostationnaire considéré) d'une telle station pourra être portée à des valeurs supérieures à +8 dB(MHz) pendant moins de 5% du mois considéré afin de rétablir la qualité durant les périodes d'évanouissement peu profond, mais le pourcentage de temps dépassant +11 dB(W/MHz) devrait être inférieur à 0,1%.

NOTE 9 – L'Annexe 2 présente des éléments propres à faciliter l'application de la présente Recommandation pour la planification et la conception de nouveaux systèmes dans les bandes 2025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz.

Annexe 1

Caractéristiques techniques des systèmes du service fixe propres à faciliter le partage avec les services spatiaux dans les bandes 2025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz

1 Introduction

Diverses études ont montré que les émissions des systèmes du service fixe peuvent occasionner des brouillages aux réseaux spatiaux exploités dans les services de recherche spatiale, d'exploitation spatiale et d'exploration de la Terre par satellite (services scientifiques spatiaux) dans les bandes 2025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz (bandes des 2 GHz). Un réseau spatial se compose de liaisons espace-espace entre un SRD en orbite géostationnaire et un satellite en orbite basse. Le SRD émet vers le satellite en orbite basse dans la bande 2025-2 110 MHz, et reçoit les signaux de ce satellite dans la bande 2 200-2 290 MHz. Il en résulte que le satellite en orbite basse peut subir des brouillages occasionnés par des émissions dans la bande 2025-2 110 MHz, tandis que le SRD en orbite géostationnaire peut subir les brouillages consécutifs aux émissions dans la bande 2 200-2 290 MHz. Les satellites en orbite basse peuvent également communiquer avec les stations terriennes du réseau terrien par l'intermédiaire des liaisons Terre-espace. Ces liaisons, sur lesquelles on utilise la bande 2025-2 110 MHz pour les émissions destinées aux satellites en orbite basse et la bande 2 200-2 290 MHz pour la réception des signaux provenant de ces satellites, ne sont pas aussi sensibles aux brouillages que les liaisons des satellites en orbite basse exploités dans le réseau spatial.

Le § 2 résume les configurations de brouillage observables au niveau des satellites en orbite basse et des SRD en orbite géostationnaire dans des cas d'utilisation intensive des bandes des 2 GHz par le service fixe. Le § 3 expose les techniques d'atténuation des brouillages que l'on pourrait faire intervenir dans le service fixe pour réduire les niveaux de brouillage potentiels. Le § 4 traite de l'efficacité des diverses techniques d'atténuation qui permettent de réduire le niveau des brouillages pouvant être occasionnés aux satellites exploités dans le réseau spatial.

2 Brouillages pouvant être causés aux satellites exploités dans le réseau spatial

Des simulations de Monte Carlo ont permis d'évaluer les brouillages occasionnés aux systèmes des services scientifiques spatiaux par un certain nombre (pouvant être fort élevé d'ailleurs) de systèmes du service fixe. Par hypothèse, les systèmes du service fixe étaient des systèmes point à point fonctionnant en visibilité directe et comportant 13 stations par section; par ailleurs, on utilisait des techniques de modulation numérique et des antennes à gain élevé.

La répartition des systèmes du service fixe correspondait, par hypothèse, à celle de 1 245 grandes villes réparties dans le monde. La liste des villes retenues ne comprenait aucune ville des Etats-Unis d'Amérique puisque, dans ce pays, les bandes en question sont largement utilisées pour d'autres applications. Les hypothèses adoptées donnaient une configuration de plus de 16 000 stations point à point en service dans le monde.

On dénombre donc 13 stations par trajet. On suppose que les trajets sont centrés dans les grandes villes. On détermine une ligne directrice uniformément répartie entre 0° et 360° . On trace alors le vecteur de position géographique et le vecteur de pointage d'antenne de chaque station sur le trajet, en supposant un espacement de 50 km entre stations. Au niveau de chaque station, l'azimut est la somme de l'angle déterminé par rapport à la ligne directrice et d'un angle aléatoire dont les valeurs sont uniformément réparties entre $\pm 12,5^\circ$. Toutes les deux stations (stations d'extrémité exceptées), on suppose qu'il existe deux antennes émettant dans le même canal, à savoir l'une pointant sur la station précédente du trajet et l'autre sur la station suivante. Les antennes des stations d'extrémité pointent vers les stations adjacentes. Chaque antenne présente un angle d'élévation de 0° , un gain sur l'axe de 33 dBi et un diagramme de rayonnement hors axe conforme au diagramme amélioré défini dans la Recommandation UIT-R F.699. On suppose que la densité spectrale de puissance d'émission, au niveau de chaque station d'émission, est de -35 dB(W/kHz), valeur compatible avec des systèmes numériques MAQ-64.

L'effet de la répartition globale de ces sections de trajets hertziens constitués de 13 stations sur les satellites en orbite basse exploités dans la bande 2 025-2 110 MHz est déterminé par calcul du total des brouillages subis par ces satellites en fonction de la latitude et de la longitude du point subsatellite du vecteur de position du satellite considéré. On suppose que les brouillages subis par le satellite en orbite basse s'exercent par effet de couplage dans le récepteur (par les lobes latéraux dont le gain est de 0 dBi).

La Figure 1 est un diagramme de contour d'une simulation de Monte Carlo, dans le cas d'un satellite situé à 300 km d'altitude. L'intensité du brouillage capté est donnée en fonction de la latitude et de la longitude du satellite (on constate que la valeur maximale de ce brouillage est de $-151,7$ dB(W/kHz)). On observe que le brouillage se produit au-dessus des terres et qu'il est de nature statique: en d'autres termes, à chaque point subsatellite correspond un niveau de brouillage invariant.

Une autre simulation de Monte Carlo a permis de déterminer les brouillages occasionnés aux SRD en réception dans la bande 2 200-2 290 MHz. Les hypothèses de travail concernant les caractéristiques et la répartition des systèmes point à point du service fixe dotés d'antennes à gain élevé étaient identiques. Dans cette analyse, on suppose tout d'abord que le SRD utilise l'orbite des satellites géostationnaires et qu'il est équipé d'antennes de réception orientables à gain élevé. Aux fins de l'analyse, les variables indépendantes sont la longitude du point subsatellite correspondant au SRD géostationnaire (on suppose que l'inclinaison du plan orbital est nulle) ainsi que les angles de roulis et de tangage des antennes orientables. (Ces angles 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 est orienté dans la direction du vecteur de vitesse du satellite et l'axe des z est parallèle à l'axe de rotation de la Terre. Dans un tel système de coordonnées local, la rotation autour de l'axe des x correspond à un mouvement de lacet, la rotation autour de l'axe des y à un roulis et la rotation autour de l'axe des z à un tangage.)

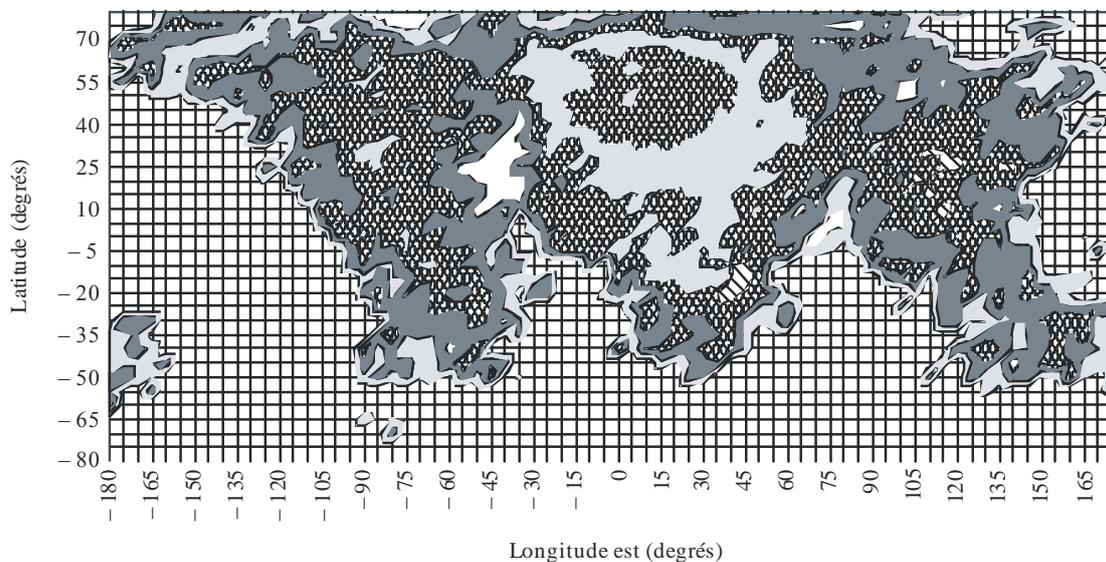
Le réseau de SRD exploité par les Etats-Unis d'Amérique se compose de plusieurs satellites opérationnels et d'un certain nombre de satellites de secours, déjà placés en orbite, à 41° , 46° , 171° et 174° O. Ces satellites utilisent deux types d'antennes suiveuses à gain élevé: une antenne à accès multiple en bande-S (SMA), caractérisée par un gain sur l'axe de 28,0 dBi et une antenne à accès unique en bande-S (SSA) avec un gain sur l'axe de 36,8 dBi.

On suppose que les antennes des SRD présentent des diagrammes de rayonnement hors axe conformes aux diagrammes définis dans la Recommandation UIT-R S.672 pour des antennes de satellite à symétrie circulaire et à niveau de premier lobe latéral inférieur à 20 dB par rapport au gain de crête sur l'axe).

Les stations du service fixe sont déployées comme précédemment décrit. Les brouillages occasionnés aux antennes SMA et SSA d'un SRD de position orbitale spécifiée sont déterminés pour chaque angle de pointage de l'antenne dans une fourchette de $\pm 13^\circ$ en valeurs de tangage et de $\pm 11^\circ$ en valeurs de roulis, par pas de 1° . Le brouillage total occasionné par les émissions des stations hertziennes visibles est calculé pour chaque position de faisceau SMA ou SSA. La Fig. 2 donne un exemple des résultats obtenus dans le cas de l'antenne SSA d'un SRD placé à 41° O. On relève un niveau maximal de brouillage de $-150,7$ dB(W/kHz) et on constate que le brouillage dépassera -170 dB(W/kHz) sur une proportion relativement importante des angles de balayage. On note de nouveau que le profil temporel des brouillages est invariant. A chaque angle de pointage correspond un niveau de brouillage déterminé.

FIGURE 1

Répartition géographique des brouillages subis par des satellites en orbite à 300 km d'altitude

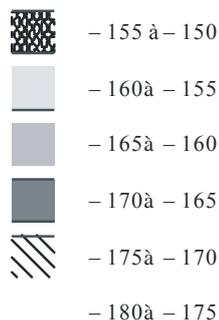


Altitude du satellite = 300 km

Gain de l'antenne du service fixe = 33,0 dB

Densité spectrale de puissance d'émission de la station du service fixe = -35 dB(W/kHz)

Densité maximale de puissance brouilleuse = $-151,7$ dB(W/kHz)



3 Techniques d'atténuation des brouillages

Plusieurs techniques d'atténuation des brouillages éventuellement utilisables par le service fixe ont été évaluées. Les techniques suivantes sont applicables aussi bien à la bande 2 025-2 110 MHz qu'à la bande 2 200-2 290 MHz:

- commande automatique de puissance d'émission;
- limitation, à la plus faible valeur envisageable dans la pratique, de la densité spectrale de puissance d'émission;
- choix judicieux du point d'installation de l'antenne d'émission;
- antennes d'émission caractérisées par des diagrammes de rayonnement favorables.

Les techniques suivantes sont applicables à la partie supérieure de la bande (2 200-2 290 MHz):

- limitation de la densité spectrale de p.i.r.e. rayonnée vers les positions orbitales des SRD;
- assignation de la partie inférieure de la bande 2 200-2 290 MHz aux stations du service fixe à puissance élevée.

Des techniques d'atténuation des brouillages convenant aux SRD sont à l'étude.

3.1 Commande automatique de puissance d'émission

La CAPE est l'un des moyens les plus efficaces lorsque l'on cherche à réduire les brouillages subis par les satellites d'un réseau de SRD. Toute réduction de la puissance nominale d'émission observée à l'accès de l'antenne se traduit par une réduction correspondante du brouillage. Il est établi qu'une CAPE sur 20 dB, quel que soit le type de station du service fixe, permet de réduire sensiblement les brouillages occasionnés, et qu'une telle réduction est nécessaire.

3.2 Densité spectrale de puissance d'émission

Le système de réception des SRD est particulièrement sensible aux brouillages du fait que l'on ne prévoit, sur les liaisons espace-espace, que de faibles marges (2 à 4 dB). Le recours à une faible densité de puissance spectrale d'émission constitue une méthode efficace de réduction des brouillages.

3.3 Choix du point d'installation des antennes d'émission

Dans certains cas, notamment s'agissant des systèmes point à multipoint, les stations du service fixe sont installées à proximité du sol et sont occultées soit par des bâtiments soit par des feuillages. Ces facteurs tendent à accroître les pertes sur le trajet de propagation pour de faibles angles d'élévation. Dans une étude, on a relevé un affaiblissement supplémentaire de 20 dB pour un angle d'élévation de 0°, cet affaiblissement décroissant linéairement jusqu'à 0 dB pour une valeur de 10°. On suppose que le phénomène n'intervient que dans le cas des stations périphériques des systèmes multipoint, toutes les autres liaisons desservant des sites plus élevés ou non occultés.

Les antennes à faible gain (notamment les antennes planes) utilisées dans les systèmes multipoint à faible puissance sont en général installées sur un mur. Dans une étude, on a donc supposé que la perte additionnelle due à l'occultation par le bâtiment ne serait observée que dans le cas de sources de brouillage situées derrière le plan de l'antenne. Dans le modèle, on a donc prévu un affaiblissement additionnel de 20 dB pour des angles d'arrivée supérieurs à 90° par rapport à l'axe de visée.

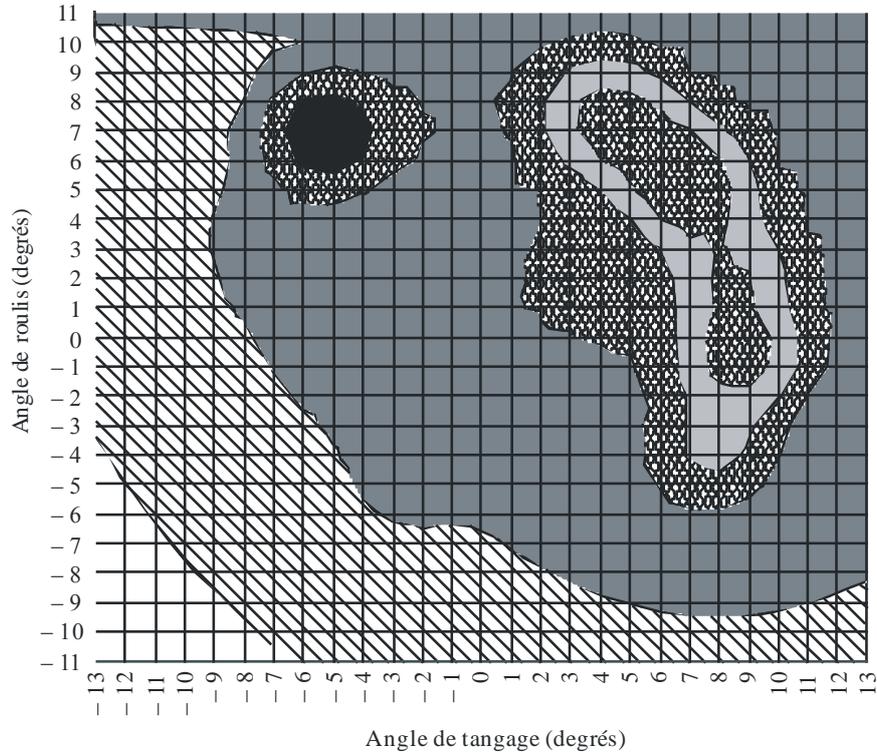
Lorsque l'on observe simultanément une occultation par les bâtiments et une occultation due à des feuillages, l'isolation additionnelle est limitée par les effets de diffusion et de diffraction. On prévoit donc dans ce cas un affaiblissement, dû aux deux phénomènes, de 30 dB seulement.

3.4 Diagrammes de rayonnement des antennes d'émission

Les diagrammes de rayonnement des antennes d'émission des stations du service fixe ont une incidence sur l'importance des brouillages. En utilisant des antennes respectant ou dépassant les critères de qualité de fonctionnement exposés dans la Recommandation UIT-R F.699, on limitera les situations de brouillage.

FIGURE 2

Diagramme de contour des brouillages occasionnés à une antenne de SRD en fonction de l'angle de roulis et de l'angle de tangage pour un SRD situé à 41° O et dans le cas d'une antenne SSA



Longitude du SRD = $-41,0^{\circ}$

Latitude du SRD = $0,0^{\circ}$

Gain de l'antenne de la station du service fixe = 33,0 dB

Niveau maximal de brouillage occasionné à une antenne SSA = $-150,7$ dB(W/kI)

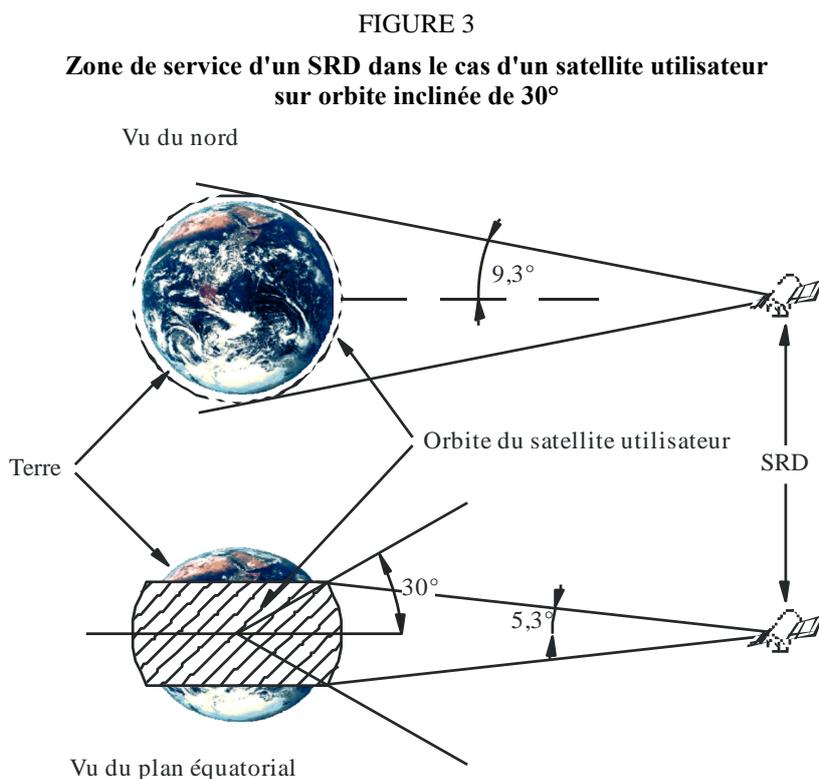


3.5 Densité spectrale de p.i.r.e. rayonnée vers les positions orbitales des SRD

Il est nécessaire de spécifier la densité spectrale de p.i.r.e. rayonnée par toute station d'émission du service fixe vers une antenne de réception de SRD géostationnaire exploité dans la bande 2 200-2 290 MHz pour faire en sorte que le brouillage ne dépasse pas les critères de protection définis dans la Recommandation UIT-R SA.1274 (soit -147 dB(W/MHz) pendant un maximum de 0,1% du temps). La valeur adéquate de densité spectrale de p.i.r.e. peut être déterminée comme suit: on suppose que la zone de service d'un faisceau d'antenne de SRD est limitée à un rectangle de 20° dans le sens est-ouest et de 12° dans le sens nord-sud, comme illustré à la Fig. 3. On suppose aussi que les positions du satellite utilisateur dans la zone de service sont équiprobables. Alors, le pourcentage de temps pendant lequel l'antenne du SRD pointera vers une station du service fixe spécifique est le rapport de la superficie de la zone de couverture ponctuelle du faisceau de l'antenne du SRD à la superficie de la zone de service de ce même satellite. Une probabilité de brouillage de 0,1% donne une largeur de bande d'antenne de SRD de $0,3^\circ$. Pour une antenne de SRD présentant un gain de 36 dBi, le gain observé à $0,3^\circ$ de l'axe de visée est approximativement comparable à la valeur relevée sur l'axe. Sur la base de l'ensemble de ces hypothèses, la densité spectrale de p.i.r.e. rayonnée vers un SRD géostationnaire par une seule station du service fixe ne doit pas dépasser:

$$\text{p.i.r.e.} \leq -147 + 191 - 36 + 3 - 3 = +8 \text{ dB(W/MHz)}$$

Dans cette équation, -147 dB(W/MHz) correspond au critère de partage, 191 dB à l'affaiblissement en espace libre, 36 dBi au gain de l'antenne du SRD sur l'axe de visée et enfin 3 dB à une provision pour discrimination de polarisation entre l'antenne du SRD et l'antenne du service fixe. On suppose également que le brouillage de fond entre systèmes du service fixe et systèmes du service mobile est égal à la composante unique du scénario le plus défavorable (et l'on prévoit encore 3 dB pour en tenir compte).



3.6 Canaux assignés aux stations du service fixe dans la bande 2 200-2 290 MHz

Les systèmes à SRD peuvent, par conception, fonctionner dans la totalité de la bande 2 200-2 290 MHz. La plupart des engins spatiaux utilisés dans ce service fonctionnent actuellement dans la partie supérieure de la bande, tandis qu'un petit nombre sont exploités vers le milieu de la bande et au moins un dans la partie inférieure. Au cours des dix années qui viennent, la plupart des utilisateurs n'ayant pas besoin d'une liaison à accès multiple recevront probablement des assignations dans la partie médiane de la bande (la répartition des assignations de fréquence faites aux satellites du réseau terrien est tout à fait différente).

On s'attend qu'un petit nombre seulement d'utilisateurs de SRD occuperont la partie inférieure de la bande. On pourrait alors disposer d'une certaine souplesse et assigner dans cette partie inférieure de la bande les émissions du service fixe effectuées à haute puissance, qui sont incompatibles avec les critères de partage applicables.

3.7 Observations sur la densité spectrale de p.i.r.e. dans le cas des systèmes point à multipoint

Un certain nombre de contributions reçues traitent des caractéristiques de transmission des systèmes point à multipoint. Dans au moins un pays, 400 systèmes recouvrant au total environ 10 000 stations ont été mis en place, qui fonctionnent avec des valeurs de densité spectrale de p.i.r.e. comprises entre 4 et 7 dB(W/MHz) pour ce qui est des stations centrales et entre 11 et 19 dB(W/MHz) pour ce qui est des stations périphériques. Ces systèmes sont exploités dans les bandes de fréquences 1 427-1 530 MHz (25%), 2 025-2 300 MHz (5%) et 2 300-2 655 MHz (70%), et les caractéristiques des systèmes fonctionnant dans les bandes des 2 GHz devraient être analogues. D'autres contributions sur les caractéristiques des systèmes point à multipoint spécifient des valeurs comprises entre -10 et 12 dB(W/MHz) pour les stations centrales et entre 8 et 12 dB(W/MHz) pour les stations périphériques. Sans CAPE, la gamme des valeurs de densité de p.i.r.e. des stations centrales s'échelonne donc de -10 à 12 dB(W/MHz) et celle des stations périphériques de 8 à 19 dB (W/MHz). Avec une CAPE sur au moins 10 dB, des valeurs de densité de p.i.r.e. voisines de 5 dB(W/MHz) suffiraient certainement à répondre aux besoins de puissance d'émission des stations centrales ainsi, dans une large mesure, qu'à ceux des stations périphériques.

Dans le cas de systèmes AMRT à forte puissance et faible densité, la charge moyenne, au niveau des stations périphériques, devrait être de l'ordre de 40% de la capacité, ce qui permettrait d'accroître la densité maximale de p.i.r.e. au niveau d'une station périphérique d'une valeur comprise environ entre 4 et 9 dB(W/MHz). Dans le cas d'une charge moyenne dépassant 4%, le relèvement acceptable peut être calculé par référence au rapport entre le nombre effectif d'abonnés par station centrale et le nombre maximal d'abonnés.

4 Résumé

Il est particulièrement intéressant d'étudier les configurations de brouillages cumulatifs observables au niveau du satellite considéré compte tenu des techniques d'atténuation envisageables. Le Tableau 1 résume la configuration de partage dans la bande 2 025-2 110 MHz dans le cas d'un satellite en orbite à 300 km avec diverses techniques d'atténuation des brouillages. Comparés aux systèmes point à multipoint à haute puissance, les systèmes hertziens point à point présentent des niveaux de puissance analogues, de sorte que les résultats, pour un nombre de stations équivalent, seront approximativement les mêmes. Les configurations de brouillage sont de moins en moins critiques lorsque l'on augmente l'altitude de l'orbite.

TABLEAU 1

Tableau récapitulatif de l'efficacité des techniques d'atténuation des brouillages applicables aux satellites en orbite basse exploités dans un réseau spatial, sur des orbites de 300 km d'altitude, lorsque la réception s'effectue dans la bande 2 025-2 110 MHz

	Faisceaux hertziens point à point	Systèmes point à multipoint à forte puissance ⁽¹⁾	Systèmes point à multipoint à faible puissance ⁽²⁾
Nombre attendu d'installations par MHz (dans le monde) au cours de la prochaine décennie	5 000	5 000	500 000
Niveau moyen de brouillage cumulatif (dB(W/MHz))	-139	-39	-132
Dépassement par rapport aux critères de partage (-147 dB(W/MHz))	8	8	15
Effet attendu de la réduction moyenne de puissance rendue possible par la CAPE (dB)	10	10	10
Effet d'un relèvement de la puissance surfacique d'émission du SRD en direction du satellite en orbite basse (dB)	6	6	6
Dépassement attendu du niveau de partage lorsque les mesures ci-dessus sont appliquées (dB)	-8	-8	-1

⁽¹⁾ Faible densité.

⁽²⁾ Forte densité.

La commande automatique de puissance des stations du service fixe permet d'atténuer sensiblement les brouillages cumulatifs subis par les satellites. La réduction du brouillage est pour ainsi dire proportionnelle au niveau moyen de réduction de la puissance sur l'ensemble des liaisons. En conséquence, il est fortement recommandé de faire intervenir un système de commande automatique de puissance chaque fois que cela est possible. En général, les niveaux de puissance devront être aussi bas qu'on pourra l'envisager compte tenu des considérations techniques applicables, puisqu'ils ont une incidence directe sur les niveaux de brouillage.

L'assouplissement, de 4 dB, des critères de protection des SRD a manifestement le même effet sur tous les types de systèmes du service fixe, et cet assouplissement contribue sensiblement à l'obtention d'une configuration de partage raisonnable.

Le Tableau 2 résume la configuration de partage dans le cas d'un SRD géostationnaire, ainsi que l'incidence attendue des diverses techniques d'atténuation des brouillages. Comparés aux systèmes point à multipoint à forte puissance, les systèmes hertziens point à point présentent des niveaux de puissance similaires, mais leur nombre est sensiblement plus élevé.

Ici encore, la commande automatique de puissance des stations du service fixe permet de réduire sensiblement les brouillages cumulatifs occasionnés aux satellites, et cette technique devrait être appliquée chaque fois que cela est possible. En général, les niveaux de puissance seront maintenus à des valeurs aussi basses que le permettront les considérations techniques applicables puisqu'ils ont une incidence directe sur les niveaux de brouillage. La densité spectrale de puissance sera aussi faible que possible. Dans une optique de réduction des brouillages, on préférera des débits de transmission de données élevés.

L'assouplissement, de 4 dB, des critères de protection des SRD contribue ici encore à améliorer les possibilités de partage.

TABLEAU 2

Tableau récapitulatif de l'efficacité des techniques d'atténuation des brouillages applicables aux SRD géostationnaires, lorsque la réception s'effectue dans la bande 2 200-2 290 MHz

	Faisceaux hertziens point à point	Systèmes point à multipoint à forte puissance⁽¹⁾	Systèmes point à multipoint à faible puissance⁽²⁾
Nombre attendu d'installations par MHz (dans le monde) au cours de la prochaine décennie	12 000	5 000	500 000
Niveau moyen de brouillage cumulatif (dB(W/MHz))	-132	-136	-129
Dépassement par rapport aux critères de partage (-147 dB(W/MHz))	15	11	18
Effet attendu de la réduction moyenne de puissance rendue possible par la CAPE (dB)	10	10	10
Effet d'un relèvement de la puissance surfacique rayonnée par le satellite en orbite basse en direction du SRD (dB)	3	3	3
Effet d'un décalage de pointage d'antenne par rapport à l'orbite des satellites géostationnaires	3	2	1
Dépassement attendu du niveau de partage lorsque les mesures ci-dessus sont appliquées (dB)	-1	-4	4

(1) Faible densité.

(2) Forte densité.

Un décalage de pointage d'antenne permet de réduire le niveau de brouillage de 35 dB pour une antenne de 2,4 m. Un décalage de 4° au-moins devra être prévu, donnant une réduction de brouillage de l'ordre de 12 dB par rapport au niveau maximal. On évite ainsi les brouillages dans le faisceau principal de l'antenne dans le cas d'une station point à point type du service fixe équipée d'une antenne de 2,4 m. Une valeur de décalage de pointage supérieure est naturellement souhaitable, mais dans ce cas l'effet additionnel d'atténuation des brouillages sera sensiblement moindre. Naturellement, le décalage de pointage n'a qu'un effet limité et, dans de nombreux cas, ne sera pas envisageable avec des systèmes point à multipoint. Les stations centrales sont souvent dotées d'antennes équidirectives et les stations périphériques, qui n'ont pas le choix, pour ainsi dire, doivent pointer directement vers leur station centrale, quelle que soit la constellation résultante.

Le cas le plus critique semble être celui d'un système point à multipoint à faible puissance et forte densité. On notera que l'effet de l'affaiblissement sur le trajet d'une part et le choix des emplacements des stations point à multipoint d'autre part (voir le § 3.3) réduiront encore, dans la pratique, le potentiel de brouillage de ces systèmes. On constate par ailleurs que la bande 2 200-2 290 MHz est plus vulnérable que la bande 2 025-2 110 MHz.

On notera enfin que les systèmes du service fixe considérés plus haut ont été évalués sur une base unitaire. Mais il faudra tenir compte des effets cumulatifs dans tout calcul du niveau de brouillage total.

Annexe 2

Application de la présente Recommandation dans la planification et la conception de nouveaux systèmes dans les bandes 2025-2110 MHz et 2200-2290 MHz

1 Introduction

La présente Annexe présente les éléments propres à faciliter l'application de cette Recommandation pour la planification et la conception de nouveaux systèmes dans les bandes 2025-2110 MHz et 2200-2290 MHz, partagées avec les services de recherche spatiale, d'exploitation spatiale et d'exploration de la Terre par satellite (services des sciences spatiales).

2 Dispositions générales

Le point 1 du *recommande* de la présente Recommandation indique les dispositions générales du service fixe en ce qui concerne la CAPE, la densité spectrale de puissance d'émission et les diagrammes de rayonnement des antennes d'émission. Ces dispositions témoignent des difficultés de partage entre le service fixe et les services des sciences spatiales dans les bandes 2025-2110 MHz et 2200-2290 MHz.

2.1 CAPE

Dans la mesure du possible, un émetteur du système du service fixe devrait être doté d'une CAPE avec une puissance moyenne inférieure d'au moins 10 dB à la puissance maximale de l'émetteur.

Il conviendrait de noter que le point 2.1 du *recommande* est applicable aux émetteurs à CAPE, ce qui fait exception au point 2 du *recommande*.

2.2 Densité spectrale de puissance d'émission

Un émetteur du système du service fixe devrait émettre à la valeur de densité spectrale de puissance la plus faible envisageable dans la pratique. Cette disposition peut s'appliquer à tout émetteur du service fixe mais est particulièrement importante dans les bandes 2025-2110 MHz et 2200-2290 MHz.

2.3 Diagrammes de rayonnement d'antennes

Dans la mesure du possible, le système du service fixe devrait utiliser des antennes d'émission à diagramme de rayonnement favorable, compte tenu de la Recommandation UIT-R F.699.

Le point 2.1 du *recommande* indique la densité spectrale maximale de p.i.r.e. des stations point à point du système du service fixe vers certaines positions de SRD géostationnaire. Les diagrammes de rayonnement d'antennes sont essentiels pour déterminer une telle densité spectrale de p.i.r.e.

3 Stations point à point du système du service fixe

Le point 2 du *recommande* indique les limites des stations point à point du système du service fixe exploitées dans la bande 2 200-2 290 MHz afin de protéger les positions de SRD géostationnaire déjà exploitées ou en passe de l'être et définies dans la Recommandation UIT-R SA.1275.

Cette disposition s'applique également aux liaisons point à point entre systèmes point à multipoint ou à l'intérieur de tels systèmes ainsi qu'aux stations périphériques de systèmes point à multipoint utilisant des antennes directives de gain maximal supérieur à 14 dBi (voir les Notes 1 et 3 du texte principal).

Il conviendrait de noter que le point 2 du *recommande* ne s'applique pas au système du service fixe fonctionnant dans la bande 2 025-2 110 MHz, essentiellement parce que l'utilisation de la bande 2 200-2 290 MHz est prévue pour la réception par SRD (voir la Recommandation UIT-R SA.1155).

3.1 Densité spectrale de p.i.r.e. vers une position de SRD géostationnaire

Dans la mesure du possible, les stations point à point du système du service fixe exploitées dans la bande 2 200-2 290 MHz devraient éviter de rayonner une densité spectrale de p.i.r.e. supérieure à +8 dB(W/MHz) en direction des positions de SRD géostationnaire définies (voir le point 2 du *recommande*).

La densité spectrale de p.i.r.e. rayonnée vers la position du SRD géostationnaire est le produit de la densité spectrale de puissance à l'émission (à l'entrée de l'antenne) et du gain de l'antenne dans la direction de la position du SRD.

Afin d'estimer ce gain d'antenne, il est nécessaire de calculer les séparations angulaires entre les faisceaux de l'antenne d'émission du service fixe et les positions du SRD géostationnaire et de prendre pour hypothèse certains diagrammes de rayonnement d'antenne.

La méthode de calcul des séparations angulaires figure à l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R F.1249. Elle tient compte des effets de la réfraction atmosphérique et de l'horizon local.

Si l'on dispose du diagramme de rayonnement d'antenne (représentant l'enveloppe des crêtes des lobes latéraux) il devrait être utilisé pour déterminer le gain d'antenne approprié. En l'absence de telles données, on appliquera le diagramme de rayonnement de référence de la Recommandation UIT-R F.699.

3.2 Emetteurs à CAPE

La densité spectrale de p.i.r.e. des stations du système du service fixe à CAPE exploitées dans la bande 2 200-2 290 MHz peut être portée à des valeurs supérieures à +8 dB(W/MHz) dans la direction de la position du SRD géostationnaire considéré pendant moins de 0,1% du mois considéré (voir le point 2.1 du *recommande*).

Toutefois, la Note 8 du texte principal reconnaît que certains systèmes du service fixe, pour lesquels la CAPE est activée par les conditions d'évanouissement profond, peuvent avoir des difficultés à satisfaire les objectifs de qualité durant les périodes d'évanouissement peu profond car le rétablissement de la qualité durant ces événements peut exiger que la CAPE soit activée pendant des pourcentages de temps supérieurs à 0,1% du mois. Par conséquent, la Note 8 permet un assouplissement des critères de densité spectrale de p.i.r.e. (dans la direction de la position du SRD géostationnaire considéré) des stations du système du service fixe à CAPE exploitées dans la partie inférieure de la bande 2 200-2 290 MHz, de préférence dans la gamme 2 200-2 245 MHz, densité qui peut être portée à des valeurs supérieures à +8 dB(W/MHz) pendant moins de 5% du mois considéré afin de rétablir la qualité durant les périodes d'évanouissement peu profond, mais le pourcentage de temps dépassant +11 dB(W/MHz) devrait être inférieur à 0,1%.

3.3 Exceptions

Les stations du système du service fixe qui ne peuvent se conformer au point 2 du *recommande* devraient être exploitées en direction de la partie inférieure de la bande 2 200-2 290 MHz (voir le point 2.2 du *recommande*).

Cela est essentiellement dû au fait que la partie supérieure de la bande 2 200-2 290 MHz est prévue pour la réception par SRD.

4 Stations point à multipoint du système du service fixe

4.1 Densité de p.i.r.e.

Dans la mesure du possible, les stations point à multipoint du système du service fixe exploitées dans les bandes 2 025-2 110 MHz et 2 200-2 290 MHz devraient éviter de rayonner une densité de p.i.r.e. dépassant, par liaison, 5 dB(W/MHz), valeur applicable aux stations centrales et aux stations périphériques des systèmes à forte puissance et faible densité, pendant plus de 0,1% du mois considéré, compte tenu de la CAPE (voir le point 3.1 du *recommande*).

Il conviendrait de noter que le point 2 du *recommande* s'appliquent également aux liaisons point à point entre systèmes point à multipoint ou à l'intérieur de tels systèmes et également aux stations périphériques de systèmes point à multipoint utilisant des antennes directives de gain maximal supérieur à 14 dBi (voir les Notes 1 et 3 du texte principal).

La Note 4 du texte principal indique que dans le cas d'un système point à multipoint à forte puissance et faible densité exploité en mode de transmission intermittent (AMRT, etc.), les stations périphériques peuvent accroître leur densité de p.i.r.e. d'un certain pourcentage, qui dépend du nombre d'abonnés raccordés aux stations périphériques relevant d'une même station centrale mais à hauteur de 9 dB(W/MHz) au maximum (voir le § 3.7 de l'Annexe 1).

La Note 5 du texte principal fait référence aux systèmes à faible puissance et forte densité.

4.2 Antennes d'émission équidirectives de stations centrales

Les stations centrales des systèmes point à multipoint devraient être dotées d'antennes d'émission équidirectives à gain minimal au-dessus du plan horizontal (voir le point 3.2 du *recommande*).
