

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R SA.1626-1
(12/2013)

**Faisabilité du partage des fréquences
entre le service de recherche spatiale
(espace vers Terre) et les services
fixe et mobile dans la
bande 14,8-15,35 GHz**

Série SA
Applications spatiales et météorologie



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, 2014

© UIT 2014

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 SA.1626-1*

Faisabilité du partage des fréquences entre le service de recherche spatiale (espace vers Terre) et les services fixe et mobile dans la bande 14,8-15,35 GHz

(2003-2013)

Domaine d'application

La présente Recommandation expose les caractéristiques des systèmes de recherche spatiale, ainsi que les résultats des analyses de faisabilité du partage des fréquences entre le service de recherche spatiale (espace vers Terre) et les services fixe et mobile dans la bande 14,8-15,35 GHz.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la bande 14,8-15,35 GHz est attribuée à titre primaire aux services fixe et mobile et à titre secondaire au service de recherche spatiale;
- b) que, conformément au numéro **5.339** de l'édition de 2012 du Règlement des radiocommunications (RR), la bande 15,20-15,35 GHz est attribuée à titre secondaire au service de recherche spatiale (passive) et au service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) (passive);
- c) que le service de recherche spatiale à large bande a besoin de liaisons descendantes pour la transmission future de données scientifiques à haut débit;
- d) que, dans des conditions favorables, les distances de séparation requises entre les stations terriennes de réception du service de recherche spatiale et les stations d'émission du service fixe sont relativement courtes (moins de 30 km) et que dans des conditions moins favorables, ces distances peuvent être relativement grandes (jusqu'à 200 km);
- e) que ces distances de séparation peuvent diminuer fortement en raison de la répartition des canaux, de l'effet d'écran dû aux sites naturels, des obstacles dus au terrain et d'autres caractéristiques du terrain,

notant

- a) qu'en raison du petit nombre de stations terriennes du service de recherche spatiale qu'il est prévu d'installer dans le monde (10 à 40), la coordination entre les systèmes des services fixe et mobile terrestre et les stations du service de recherche spatiale n'entraînera de contraintes excessives pour aucun des services,

recommande

- 1** d'envisager comme possible le partage entre un satellite OSG du service de recherche spatiale émettant dans le sens espace vers Terre et un satellite relais de données (SRD) OSG de réception fonctionnant à proximité de 15 GHz si la distance de séparation entre ces satellites est d'au moins 12 km (ce qui équivaut à un espacement orbital de 0,02°);

* La présente Recommandation devrait être portée à l'attention de la Commission d'études 5 des radiocommunications.

2 de tenir compte, lors de la conception de systèmes du service de recherche spatiale, de la probabilité pour que ces systèmes subissent des brouillages causés par des satellites utilisateurs du SRD pendant de courtes périodes. Ces brouillages ne doivent pas se produire pendant plus de 0,1% du temps;

3 que des systèmes à satellites OSG du service de recherche spatiale respectent les limites de puissance surfacique à la surface de la Terre suivantes, dans des conditions supposées de propagation en espace libre dans la bande 14,8-15,35 GHz:

Limite (dB(W/(m²))) dans une largeur de bande de 1 MHz pour l'angle d'incidence, δ, au-dessus du plan horizontal		
0°-5°	5°-25°	25°-90°
-126	$-126 + 0,5(\delta - 5)$	-116

4 que des systèmes à satellites non OSG du service de recherche spatiale respectent les limites de puissance surfacique à la surface de la Terre suivantes, dans des conditions supposées de propagation en espace libre dans la bande 14,8-15,35 GHz:

Limite (dB(W/(m²))) dans une largeur de bande de 1 MHz pour l'angle d'incidence, δ, au-dessus du plan horizontal		
0°-5°	5°-25°	25°-90°
-124	$-124 + 0,5(\delta - 5)$	-114

5 d'utiliser éventuellement la méthode présentée dans l'Annexe 1 et les critères de protection applicables aux liaisons espace vers Terre du service de recherche spatiale donnés dans la Recommandation UIT-R SA.609 pour déterminer les distances de séparation requises dont les stations terriennes du service de recherche spatiale ont besoin pour bénéficier d'une protection vis-à-vis des stations d'émission des services fixe et mobile;

6 de déterminer s'il est nécessaire de prendre des mesures pour la mise en place de stations terriennes du service de recherche spatiale afin de ne pas limiter l'utilisation de la bande 14,8-15,35 GHz par le service fixe.

Annexe 1

Faisabilité du partage entre le service de recherche spatiale (espace vers Terre) et les services fixe et mobile dans la bande 14,8-15,35 GHz

1 Introduction

Des agences spatiales internationales envisagent actuellement de mettre en oeuvre des missions de recherche spatiale fondées à haut débit nécessitant des largeurs de bande allant jusqu'à 400 MHz. Les satellites utilisés pour ces missions seront équipés de télescopes ou d'autres instruments passifs pour mesurer des phénomènes tels que les orages magnétosphériques ou les éruptions solaires. Conformément à l'édition de 2012 du Règlement des radiocommunications, la bande 8 450-8 500 MHz est la seule dont dispose le service de recherche spatiale à titre primaire au-dessous

de la bande 37-38 GHz pour transmettre directement à partir de satellites en orbite autour de la Terre des données à moyen ou haut débit à destination de stations terriennes. Etant donné que cette bande ne satisfera pas aux exigences des missions futures de recherche spatiale à haut débit, une nouvelle attribution à titre primaire est nécessaire.

Les attributions actuelles dans la bande 14,8-15,35 GHz (édition de 2012 du Règlement des radiocommunications) sont indiquées dans le Tableau 1. Elles comprennent des attributions à titre primaire aux services fixe et mobile et une attribution à titre secondaire au service de recherche spatiale. En outre, aux termes du numéro **5.339** du RR, le segment de bande 15,20-15,35 GHz est attribué au service de recherche spatiale (passive) et au service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) (passive) à titre secondaire.

TABLEAU 1

**Attributions dans la bande 14,8-15,35 GHz (d'après l'édition de 2012
du Règlement des radiocommunications)**

Attribution aux services		
Région 1	Région 2	Région 3
14,8-15,35	FIXE MOBILE Recherche spatiale 5.339	

5.339 Les bandes 1 370-1 400 MHz, 2 640-2 655 MHz, 4 950-4 990 MHz et 15,20-15,35 GHz sont, de plus, attribuées aux services de recherche spatiale (passive) et d'exploration de la Terre par satellite (passive) à titre secondaire.

Compte tenu de ces attributions, il est nécessaire d'examiner un certain nombre de scénarios de brouillages (voir le Tableau 2) avant de faire une attribution à titre primaire au service de recherche spatiale dans cette bande. On a procédé à une analyse des environnements de brouillage en vue de faciliter l'identification de conditions de partage appropriées. On trouvera au § 2 des renseignements sur les caractéristiques des systèmes du service de recherche spatiale utilisées pour cette analyse. Le § 3 donne des exemples de caractéristiques des systèmes du service fixe dans la bande 14,8-15,35 GHz. Le § 4 indique les principales caractéristiques des systèmes à SRD exploités dans cette bande. Les critères de protection des stations des services fixe ou mobile vis-à-vis des émissions du service de recherche spatiale sont calculés au § 5. Le § 6 traite des brouillages causés aux stations terriennes de réception du service de recherche spatiale par des émissions du service fixe ou mobile. Les conditions de partage entre le service de recherche spatiale (espace vers Terre) et les SRD de réception sont examinées au § 7. Les questions liées à la protection des liaisons du service de recherche spatiale (passive) et du SETS ne sont pas abordées dans la présente Annexe, étant donné qu'il n'existe pas de système connu de ces services dans cette bande.

TABLEAU 2

Scénarios de brouillage applicables

Système brouilleur	Système brouillé	Observations
Service de recherche spatiale (espace vers Terre) Satellite en orbite basse Satellite OSG	Station de réception du service fixe/mobile	On suppose une propagation en visibilité directe
Station émettrice du service fixe/mobile	Station terrienne de réception du service de recherche spatiale	Les distances de séparation sont déterminées à l'aide des méthodes décrites dans la Recommandation UIT-R SM.1448, dans l'hypothèse du mode (1) de propagation pour un trajet du grand cercle à l'intérieur des terres (zone A2)
Service de recherche spatiale (espace vers Terre) Satellite en orbite basse Satellite OSG	Service de recherche spatiale de réception Adjacent Quasi antipodal	On suppose une propagation en visibilité directe
Service de recherche spatiale (espace vers Terre) Satellite en orbite basse Satellite OSG	Service de recherche spatiale/SETS (passive)	Pas d'utilisation connue de la bande 15,20-15,35 GHz au titre des dispositions du numéro 5.339 du RR

2 Caractéristiques des missions futures à haut débit du service de recherche spatiale

Le nombre de ces missions sera limité et les satellites devraient être au nombre de trois à cinq par an dans le monde entier. Il s'agira généralement de satellites en orbite polaire basse ou en orbite équatoriale, certains étant OSG et d'autres aux points de libration L1 ou L2. Les caractéristiques des satellites OSG ou en orbite basse du service de recherche spatiale émettant dans le sens espace vers Terre sont indiquées dans les bilans de liaison du Tableau 3. On a supposé que ces liaisons pouvaient transmettre des données à un débit de 400 Mbit/s dans le sens espace vers Terre. Le niveau de densité spectrale de p.i.r.e. a été réglé de telle sorte que les limites de puissance surfacique indiquées dans la Recommandation UIT-R SA.510 soient respectées aux petits angles d'élévation. On est parti du principe que le diagramme de rayonnement de l'antenne de réception de la station terrienne du service de recherche spatiale était conforme à la Recommandation UIT-R SA.509. On a évalué la faisabilité du partage sur la base des critères de protection donnés dans la Recommandation UIT-R SA.609.

TABLEAU 3

Bilans de liaison de missions à haut débit du service de recherche spatiale: exemple

Fréquence (GHz)	15		15
Altitude du satellite (km)	800	35 785	300 000 ⁽¹⁾
Débit de données (Mbit/s)	400		
Méthode de modulation	MDP-4		
Puissance d'émission (W) (dBW)	5,0	20,0	
	7,0	13,0	
Affaiblissement dû aux filtres, aux câbles (dB)	-0,5		
Diamètre de l'antenne d'émission (m)	0,38	0,86	1,5
Gain de l'antenne d'émission (dBi)	33,0	40,0	45,2
Ouverture du faisceau d'antenne à 3 dB (degrés)	3,68	1,64	1,06
p.i.r.e. (dBW)	39,5	52,5	57,7
Tolérance en bordure de faisceau (dB)	-3,0		-4,0 ⁽³⁾
Affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère et affaiblissement dû à la pluie (dB)			
Affaiblissement sur le trajet (dB)	-183,4	-208,1	-225,65
Densité spectrale de puissance surfacique (dB(W/(m ² · 4 kHz)))	-146,0	-157,6	<-146,0 ⁽²⁾
Gain de l'antenne de réception (dBi)	45,0	55,0	67,0
Température de bruit du système de réception (K)	100,0		
Angle d'élévation (degrés)	10,0		
Température de bruit de l'antenne (K)	50,0		
Température du système de réception (K)	150,0		
Affaiblissement dû au filtre de modulation (dB)	-0,5		
Affaiblissement dans le démodulateur (dB)	-0,5		
Valeur moyenne du rapport E_b/N_0 du récepteur (dB)	18,9	17,2	14,8
Valeur théorique du rapport E_b/N_0 (TEB = 1×10^{-6}) (dB)	10,5		
Valeur requise du rapport E_b/N_0 (TEB = 1×10^{-6}) (dB)	11,5		
Marge (dB)	7,4	5,7	3,3

⁽¹⁾ HEO avec un apogée de 300 000 km, un périégée de 500 km et une distance minimale pour la transmission des données de 15 000 km.

⁽²⁾ Pour la distance minimale de transmission des données.

⁽³⁾ Somme de la tolérance en bordure de faisceau (dB) et de l'affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère et l'affaiblissement dû à la pluie (dB).

3 Caractéristiques des systèmes du service fixe dans la bande 14,8-15,35 GHz

On trouvera dans le Tableau 4 des exemples de caractéristiques types de systèmes du service fixe fonctionnant dans la bande des 14,8-15,35 GHz. Les valeurs des paramètres des systèmes A et B sont

tirées de la Recommandation UIT-R F.758. Les Systèmes C et D sont représentatifs de nombreux autres systèmes du service fixe actuellement déployés.

TABLEAU 4

Exemples de caractéristiques du service fixe dans la bande 14,8-15,35 GHz

Modulation	Bande de fréquences 14,8-15,35 GHz			
	MAQ-64 (A)	MDP-4 (B)	MDF-4 (C)	MDF-4 (D)
Capacité (Mbit/s)	140	4	6,3	12,6
Espacement des canaux (MHz)	28	10,5	5	10
Diamètre d'antenne (m)	2,4	1,8	0,6	1,2
Gain d'antenne (valeur maximale) (dBi)	49,0	45,0	36,5	42,5
Affaiblissement d'alimentation/dans le multiplexeur (valeur minimale) (dB)	2	0	2	2
Bande passante à la FI du récepteur (MHz)	40	3,5	5	10
Facteur de bruit du récepteur (dB)	4	4	5	7
Bruit thermique du récepteur (dBW)	-124	-136	-132	-129
Brouillage nominal à long terme (dBW)	-134	-146	-142	-139
Densité spectrale (dB(W/MHz))	-150,0	-149,8	-149,0	-149,0
Valeur maximale de la puissance surfacique pour une seule source de brouillage et un petit angle d'incidence ⁽¹⁾ (dB(W/(m ² /MHz)))	-149,0	-147,0	-136,0	-142,0

⁽¹⁾ puissance surfacique = densité spectrale de brouillage + affaiblissement dans la ligne d'alimentation – gain d'antenne – gain (1 m²) + discrimination de 3 dB entre les polarisations rectiligne et circulaire.

4 Caractéristiques du système à SRD exploité dans la bande 14,8-15,35 GHz

Le réseau à SRD comprend plusieurs satellites OSG utilisés pour retransmettre des signaux entre stations terriennes situées dans une zone centrale et satellites utilisateurs en orbite basse. Ce réseau SRD utilise des fréquences attribuées au service de recherche spatiale dans les bandes des 2 GHz et des 13-15 GHz, ainsi que les bandes attribuées au service inter-satellites dans les bandes des 23/26 GHz. Le plan de fréquences correspondant au segment de bande 14,8-15,35 GHz illustré sur la Fig. 2, montre que le SRD reçoit des signaux dans cette bande. Les émissions dans le sens Terre vers espace comprennent une onde pilote, un signal à accès multiple qui sera retransmis dans la bande 2 025-2 110 MHz et un signal à accès unique (KSA2) qui sera transmis dans une bande centrée à 13,775 GHz. Ces émissions dans le sens Terre vers espace proviennent de stations terriennes situées aux Etats-Unis d'Amérique et sur l'île de Guam. Il ressort également de la Fig. 2 que le SRD reçoit des signaux dans le sens espace-espace en provenance du satellite en orbite basse. Ces émissions sont centrées à 15 GHz environ et occupent une largeur de bande pouvant aller jusqu'à 225 MHz.

FIGURE 1
Architecture d'un réseau à SRD (Recommandation UIT-R SA.1018)

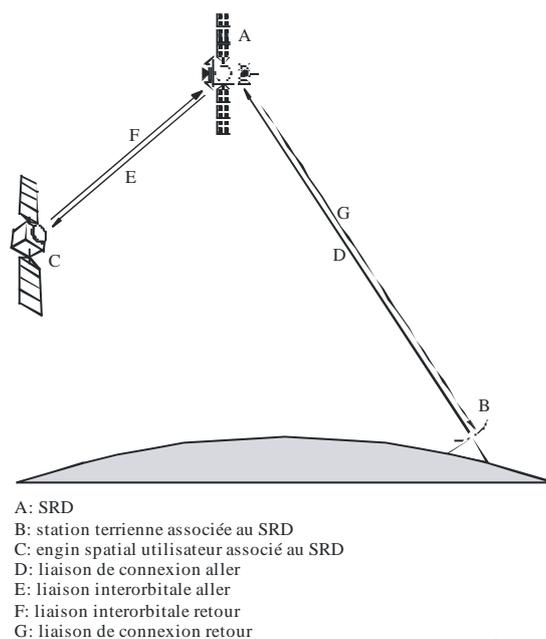
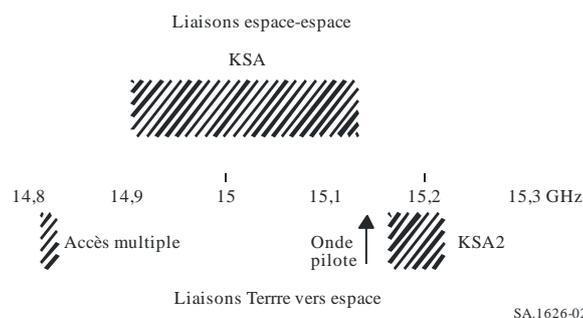


FIGURE 2
Utilisation des fréquences d'un réseau à SRD exploité dans la bande 14,8-15,3 GHz



5 Protection des stations du service fixe/mobile contre les brouillages causés par des stations spatiales du service de recherche spatiale

Les critères de protection du service fixe contre les différents brouillages, variables dans le temps, occasionnés par exemple, par des satellites non-OSG du service de recherche spatiale, sont tirés de la Recommandation UIT-R F.1494. Bien que cette Recommandation s'applique à la bande 10,7-12,7 GHz, les applications du service fixe dans la bande 14,8-15,35 GHz présentent des caractéristiques tout à fait similaires. En conséquence, les critères définis dans cette Recommandation pourraient être appliqués à la bande 14,8-15,35 GHz. Les critères de protection contre les brouillages causés par des satellites non OSG sont les suivants:

- à court terme, le rapport I/N ne devrait pas dépasser +20 dB (limite stricte);
- à long terme, la dégradation relative de la qualité de fonctionnement ne devrait pas dépasser 10%.

Dans le cas de satellites OSG, les critères de protection sont les suivants:

- la dégradation relative de la qualité de fonctionnement sur le trajet ne devrait pas dépasser 10% sur plus de 10% des trajets du service fixe;
- le rapport I/N d'une station ne devrait pas dépasser -10 dB pour plus de 10% des stations de réception du service fixe.

Les résultats de simulations concernant la probabilité pour que des brouillages soient causés par le service de recherche spatiale – en partant de l'hypothèse de la mise en place de 24 satellites OSG – à des systèmes numériques point à point du service fixe montrent que des limites de puissance surfacique dans la bande 10,7-11,7 GHz sont nécessaires pour protéger le service fixe dans la bande 14,8-15,35 GHz. Dans une largeur de bande de 1 MHz. Ces limites sont les suivantes:

$-126 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	pour	$0^\circ < \delta \leq 5^\circ$
$-126 + 0,5(\delta - 5) \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	pour	$5^\circ < \delta \leq 25^\circ$
$-116 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	pour	$25^\circ < \delta \leq 90^\circ$

où δ est l'angle d'incidence au-dessus du plan horizontal (degrés).

Ces limites de puissance surfacique devraient permettre l'exploitation des liaisons du service de recherche spatiale (espace vers Terre) à 400 Mbit/s, selon les besoins. Toutefois, un petit nombre de liaisons existantes du service fixe risquent d'être affectées si les antennes de leurs stations pointent dans la direction d'un de ces satellites OSG du service de recherche spatiale émettant dans le même canal.

Les résultats d'études de simulation relatives aux brouillages causés par des systèmes à satellites non OSG du service de recherche spatiale à des systèmes point à point du service fixe montrent que le partage entre ces services est possible dans la bande 14,8-15,35 GHz si l'on utilise des limites de puissance surfacique supérieures de 2 dB à celles qui s'appliquent à la bande 10,7-11,7 GHz. Dans une largeur de bande de 1 MHz, ces limites sont les suivantes:

$-124 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	pour	$0^\circ \leq \delta \leq 5^\circ$
$-124 + 0,5(\delta - 5) \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	pour	$5^\circ < \delta \leq 25^\circ$
$-114 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	pour	$25^\circ < \delta \leq 90^\circ$

où δ est l'angle d'incidence au-dessus du plan horizontal (degrés).

6 Protection des stations terriennes de réception du service de recherche spatiale contre les émissions des stations des services fixe et mobile

On utilise d'autres caractéristiques des systèmes du service fixe dans cette bande (voir le Tableau 5) pour évaluer les distances de séparation appropriées permettant de satisfaire aux critères de protection des stations terriennes du service de recherche spatiale sur la base de la Recommandation UIT-R SA.609, à savoir que la puissance des brouillages ne devrait pas dépasser -216 dB(W/Hz) pendant plus de 0,1% du temps pour les missions effectuées sur des engins spatiaux non habités. Etant donné que le débit des liaisons espace vers Terre est relativement élevé, on utilisera une largeur de bande de référence de 4 kHz, ce qui correspond à un critère de puissance de brouillage de -180 dB(W/4 kHz).

On a appliqué la méthode suivante pour évaluer la gamme des distances de séparation requises pour protéger une station terrienne de réception du service de recherche spatiale:

- déterminer la densité spectrale de p.i.r.e. dans la largeur de bande de 4 kHz la plus défavorable utilisée par les stations d'émission du service fixe énumérées dans le Tableau 4;
- déterminer le gain maximal de l'antenne de réception de la station terrienne du service de recherche spatiale en direction de la station d'émission du service fixe, sur la base de la Recommandation UIT-R SA.509;

- calculer l'affaiblissement de transmission de référence minimal admissible pour des émissions maximales et pour des émissions isotropes de stations du service fixe en direction de la station terrienne du service de recherche spatiale; et,
- à l'aide des procédures de la Recommandation UIT-R SM.1448, calculer la distance de séparation requise pour obtenir l'affaiblissement de transmission de référence minimal admissible en supposant un mode (1) de propagation pour un trajet à l'intérieur des terres (défini comme étant la zone A2 dans cette Recommandation).

6.1 Densité spectrale de p.i.r.e. des stations d'émission du service fixe

La densité spectrale de puissance (dsp) d'une porteuse MDP-M ou MAQ-M modulée par un flux de données aléatoires est maximale autour de la fréquence porteuse. Lorsque le débit de symboles est grand par rapport à la largeur de bande de référence, cette densité est donnée par la formule:

$$dsp = P_{avg} T_S b_{ref} \quad (1a)$$

$$T_S = \frac{\log_2 M}{R_b} \quad (1b)$$

où:

- dsp : dsp dans la largeur de bande de référence, b_{ref} , à l'entrée de l'antenne d'émission (W/ b_{ref})
- P_{avg} : puissance moyenne à la sortie de l'émetteur (W)
- T_s : durée d'un symbole (s)
- M : nombre d'états discrets groupés par le signal émis (numérique)
- R_b : débit binaire combiné d'informations et de codage du signal émis (bit/s).

6.2 Distances de séparation types

La valeur minimale de l'affaiblissement de transmission de référence est donnée par:

$$L_B = dsp + G_T(\theta_{FS}) + G_R(\theta_{Rmin}) - I_{CP} \quad (2)$$

où:

- L_B : affaiblissement de transmission de référence minimal admissible (dB)
- I_{CP} : critère de protection (dBW/ b_{ref})
- dsp : dsp d'émission à l'entrée de l'antenne d'émission (dBW/ b_{ref})
- b_{ref} : largeur de bande de référence (4 kHz)
- $G_T(\theta_{FS})$: gain de l'antenne d'émission du service fixe en direction de la station de réception du service de recherche spatiale (dB)
- $G_R(\theta_{Rmin})$: gain maximal de l'antenne de réception du service de recherche spatiale en direction de la station du service fixe (dB).

Une antenne de réception du service de recherche spatiale dont le diagramme de rayonnement de référence est conforme à celui de la Recommandation UIT-R SA.509 présente un gain maximal de +7 dBi en direction de l'horizon lorsqu'elle est pointée suivant un angle d'élévation minimal de 10°.

On détermine la valeur minimale admissible de l'affaiblissement de transmission de référence en utilisant les procédures données dans la Recommandation UIT-R SM.1448 pour:

- une fréquence d'exploitation de 15 GHz;

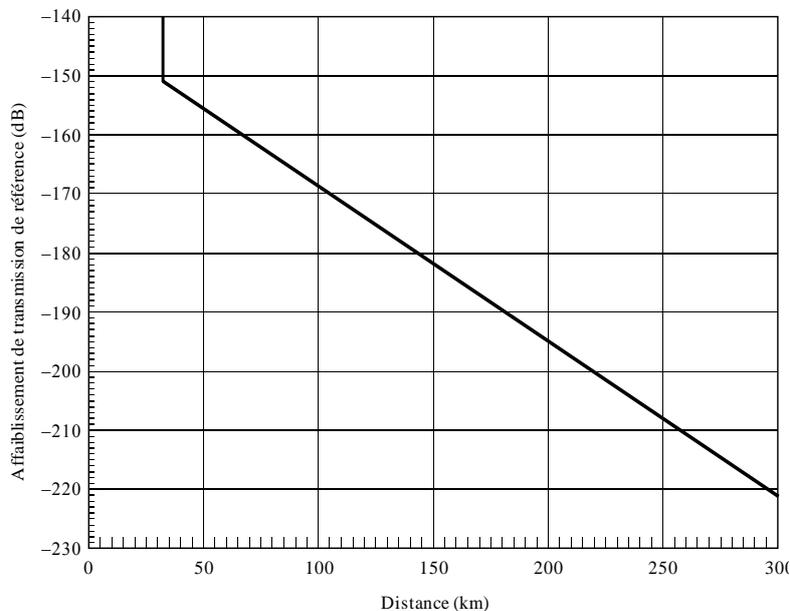
- une propagation au-dessus d'une terre régulière pour un trajet à l'intérieur des terres (zone A2);
- le mode (1) de propagation, lorsque l'affaiblissement de transmission de référence minimal admissible est dépassé pendant plus de 0,1% du temps;
- une antenne de réception de la station terrienne du service de recherche spatiale placée à 10 m au-dessus de la surface de la Terre;
- une antenne d'émission de la station du service fixe placée à 30 m au-dessus de la surface de la Terre.

La Figure 3 indique la valeur de l'affaiblissement de transmission de référence en mode (1) en fonction de la distance de séparation obtenue sur la base des hypothèses susmentionnées et des procédures de la Recommandation UIT-R SM.1448.

Le Tableau 5 contient un résumé des calculs permettant de déterminer les distances de séparation. La protection des stations terriennes de réception du service de recherche spatiale contre les émissions des systèmes du service fixe présentant les caractéristiques données dans la Recommandation UIT-R F.758 peut être assurée pour des distances de séparation relativement courtes, à savoir de 18 km à 30 km, dans des conditions favorables et pour des distances allant jusqu'à 200 km dans des conditions moins favorables. Ces distances ont été déterminées pour le mode (1) de propagation pour un trajet du grand cercle à l'intérieur des terres au-dessus d'une terre régulière (zone A2) à l'aide de la méthode décrite dans la Recommandation UIT-R SM.1448. On prévoit que ces distances de séparation pourront diminuer lorsqu'il sera tenu compte de facteurs tels que les plans de répartition des canaux, l'effet d'écran dû aux sites naturels, les obstacles dus au terrain et d'autres caractéristiques du terrain.

FIGURE 3

**Affaiblissement de transmission de référence non dépassé pendant plus de 0,1% du temps en mode (1)
de propagation pour un trajet à l'intérieur des terres au-dessus d'une terre régulière:
 $f = 15$ GHz; $h_1 = 10$ m; $h_2 = 30$ m**



$f = 15$ GHz
 Hauteur de l'antenne d'émission = 10 m
 Hauteur de l'antenne de réception = 30 m
 Affaiblissement de transmission non dépassé pendant plus de 0,1% du temps
 Zone climatique A2
 SA.1626-03

TABLEAU 5

Distances de séparation types entre une station terrienne de réception du service de recherche spatiale et des stations d'émission du service fixe à prévoir pour satisfaire aux critères de protection de la Recommandation UIT-R SA.609: hauteur de l'antenne de réception du service de recherche spatiale: 10 m au-dessus d'une terre régulière, hauteur de l'antenne d'émission du service fixe: 30 m au-dessus d'une terre régulière

Modulation	MAQ-64		MDP-8	
	Capacité (Mbit/s)	140		156
Puissance de sortie maximale de l'émetteur (dBW)	5		0	
Puissance crête/puissance moyenne (dB)	-3,7		0	
Réduction de puissance de sortie (dB)	-1,3		0	
Affaiblissement dans la ligne d'alimentation/dans le multiplexeur (dB)	-2		-5	
dsp (dB(W/4 kHz))	-39,7		-46	
Gain d'antenne en direction de la station terrienne du service de recherche spatiale (dB)	0	49	0	52
Densité spectrale de p.i.r.e. en direction de la station terrienne du service de recherche spatiale (dB(W/4 kHz))	-39,7	+9,3	-46	+6
Gain maximal de l'antenne de la station terrienne du service de recherche spatiale en direction de la station du service fixe (dBi)	+7		+7	
Brouillage maximal (dB(W/4 kHz))	-180			
Affaiblissement de transmission de référence minimal admissible (dB)	-147,3	-196,3	-141	-193
Distance de séparation (km)	30 ⁽¹⁾	200	18 ⁽¹⁾	190

⁽¹⁾ Cette distance est en visibilité directe.

7 Protection d'un système à SRD contre les émissions de stations spatiales du service de recherche spatiale

Un SRD OSG subira des brouillages causés par les émissions d'un satellite du service de recherche spatiale dans les trois cas principaux suivants:

Cas 1: lorsqu'un satellite OSG d'émission du service de recherche spatiale et un SRD OSG de réception sont voisins l'un de l'autre.

Cas 2: lorsqu'un satellite OSG d'émission du service de recherche spatiale et un SRD OSG de réception occupent des positions presque antipodales.

Cas 3: lorsqu'un satellite d'émission en orbite basse du service de recherche spatiale devient visible depuis un SRD OSG de réception.

Dans ces trois cas, on évaluera les conditions requises pour satisfaire aux critères de protection figurant dans la Recommandation UIT-R SA.1155. Dans les Cas 1 et 2, la dsp à l'entrée de l'antenne d'émission du satellite OSG du service de recherche spatiale est de $-40,5$ dB(W/kHz), d'après les caractéristiques données à titre d'exemple dans le Tableau 1. Dans le Cas 3, la dsp à l'entrée de l'antenne d'émission du satellite du service de recherche spatiale évoluant à une altitude de 800 km est de $-46,5$ dB(W/kHz), toujours d'après les caractéristiques du Tableau 1. On suppose dans les trois cas que la propagation se fait en espace libre.

La dsp du brouillage reçu et la marge associée par rapport au critère de protection sont données par:

$$I_R = dsp + G_T(\theta_T) + G_R(\theta_R) - L_{bf} \quad (3a)$$

$$M = I_{CP} - I_R \quad (3b)$$

où:

- I_R : dsp du brouillage reçu (dB(W/kHz))
- I_{CP} : critère de protection du SRD indiqué dans la Recommandation UIT-R SA.1155 (dB(W/kHz))
- M : marge par rapport au critère de brouillage (dB)
- L_{bf} : affaiblissement d'espace libre (dB)
- dsp : dsp à l'entrée de l'antenne d'émission (dB(W/kHz))
- $G_T(\theta_T)$: gain de l'antenne d'émission du satellite du service de recherche spatiale en direction du SRD (dBi)
- $G_R(\theta_R)$: gain de l'antenne de réception du SRD en direction du satellite du service de recherche spatiale (dBi)
- θ_T : angle entre l'axe de visée de l'antenne d'émission et le SRD (degrés)
- θ_R : angle entre l'axe de visée de l'antenne de réception du SRD et le satellite du service de recherche spatiale (degrés).

Les principaux résultats associés à l'équation (3) pour chacun des trois cas sont résumés dans le Tableau 6.

TABLEAU 6

Niveau de brouillage et marge opérationnelle par rapport au critère de protection donné dans la Recommandation UIT-R SA.1155 dans le cas d'un SRD OSG subissant des brouillages causés par les émissions espace vers Terre d'un satellite du service de recherche spatiale

	Cas 1	Cas 2		Cas 3
dsp (dB(W/kHz))	-40,5	-40,5		-46,5
$G_T(\theta_T)$	0	0		0
$G_R(\theta_R)$	0	0	53,3 ⁽¹⁾	53,3 ⁽¹⁾
Distance (km)	11,9	83 360		34 985 ⁽²⁾
Affaiblissement de transmission de référence (dB)	137,5	214,4		206,8
I_R (dB(W/kHz))	-178	-254,9	-201,6	-200
I_{CP} (dB(W/kHz))	-178 ⁽³⁾	-178 ⁽³⁾		-178 ⁽³⁾
Marge (dB)	0	+76,9	+23,6	+22,0

⁽¹⁾ Voir la Recommandation UIT-R SA.1414.

⁽²⁾ Satellite à une altitude de 800 km situé dans le plan équatorial directement au-dessous du SRD.

⁽³⁾ Critères de protection tirés de la Recommandation UIT-R SA.1155.

Il ressort de cette analyse qu'un réseau à SRD existant serait protégé contre les émissions des satellites en orbite basse et des satellites OSG donnés à titre d'exemple. On a constaté que la distance de séparation entre un SRD OSG de réception et un satellite OSG d'émission du service de recherche

spatiale pouvait être relativement courte, à savoir 12 km (ce qui équivaut à un espacement orbital de moins de $0,02^\circ$). On a également observé qu'une marge de protection minimale de +23 dB existait lorsqu'un satellite OSG du service de recherche spatiale en position presque antipodale émettait en direction d'un SRD de réception. Des résultats analogues ont été obtenus dans le cas d'un satellite en orbite basse du service de recherche spatiale émettant dans le sens espace vers Terre, les émissions étant situées dans le faisceau principal de l'antenne de réception du SRD. Dans ce cas, la marge de brouillage par rapport au critère de brouillage donné dans la Recommandation UIT-R SA.1155 était de +22 dB.

8 Conclusions

Les résultats des simulations concernant les probabilités pour qu'un brouillage soit causé par le service de recherche spatiale (dans l'hypothèse de la mise en place de 24 satellites OSG) à des systèmes numériques point à point du service fixe montrent que des limites de puissance surfacique dans la bande 10,7-11,7 GHz sont nécessaires pour protéger le service fixe dans la bande 14,8-15,35 GHz.

Dans une largeur de bande de 1 MHz, ces limites sont les suivantes:

$-126 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	pour	$0^\circ < \delta \leq 5^\circ$
$-126 + 0,5(\delta - 5) \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	pour	$5^\circ < \delta \leq 25^\circ$
$-116 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	pour	$25^\circ < \delta \leq 90^\circ$

où δ est l'angle d'incidence par rapport au plan horizontal (degrés).

Ces limites de puissance surfacique devraient permettre l'exploitation de liaisons du service de recherche spatiale (espace vers Terre) à 400 Mbit/s, selon les besoins. Toutefois, un petit nombre de liaisons existantes du service fixe risquent d'être affectées si les antennes de ces stations sont dans l'axe des satellites OSG du service de recherche spatiale émettant dans le même canal.

Les résultats d'études de simulation relatives aux brouillages causés par des systèmes à satellites non OSG du service de recherche spatiale à des systèmes point à point du service fixe montrent que le partage entre ces services est possible dans la bande 14,8-15,35 GHz, si l'on utilise des limites de puissance surfacique supérieures de 2 dB à celles qui s'appliquent à la bande 10,7-11,7 GHz.

Ces limites sont les suivantes:

$-124 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	pour	$0^\circ < \delta \leq 5^\circ$
$-124 + 0,5(\delta - 5) \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	pour	$5^\circ < \delta \leq 25^\circ$
$-114 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	pour	$25^\circ < \delta \leq 90^\circ$

où δ est l'angle d'incidence au-dessus du plan horizontal (degrés).

La protection des stations terriennes de réception du service de recherche spatiale contre les émissions des systèmes du service fixe présentant les caractéristiques données dans la Recommandation UIT-R F.758 peut être assurée pour des distances de séparation relativement courtes, à savoir de 18 km à 30 km, dans des conditions favorables, et pour des distances allant jusqu'à 200 km dans des conditions moins favorables. Ces distances ont été déterminées pour le mode (1) de propagation pour un trajet du grand cercle à l'intérieur des terres au-dessus d'une terre régulière (zone A2) à l'aide de la méthode décrite dans la Recommandation UIT-R SM.1448. On prévoit que ces distances de séparation pourront diminuer lorsqu'il sera tenu compte de facteurs tels que les plans de répartition des canaux, l'effet d'écran dû aux sites naturels, les obstacles dus au terrain et d'autres caractéristiques du terrain. Il ressort de l'étude qu'un réseau à SRD existant serait protégé contre les émissions des satellites en orbite basse et des satellites OSG donnés à titre d'exemple. On a constaté que la distance de séparation entre un SRD OSG de réception et un satellite OSG d'émission du service de recherche spatiale pouvait être relativement courte, à savoir 12 km (ce qui équivaut à un espacement orbital de

moins de $0,02^\circ$). On a également observé qu'une marge de protection minimale de +23 dB existait lorsqu'un satellite OSG du service de recherche spatiale en position presque antipodale émettait en direction d'un SRD de réception. Des résultats analogues ont été obtenus dans le cas d'un satellite en orbite basse du service de recherche spatiale émettant dans le sens espace vers Terre, les émissions étant situées dans le faisceau principal de l'antenne de réception du SRD. Dans ce cas, la marge de brouillage par rapport au critère de brouillage donné dans la Recommandation UIT-R SA.1155 était de +22 dB.
