

RECOMMANDATION UIT-R SA.1625*

Faisabilité du partage de fréquences entre le service de recherche spatiale (espace vers Terre) et les services fixe, inter-satellites et mobile dans la bande 25,5-27 GHz

(2003)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les services fixe, inter-satellites (SIS) (limité aux applications de recherche spatiale et d'exploration de la Terre par satellite), d'exploration de la Terre et mobile, entre autres, bénéficient d'une attribution à titre primaire dans la bande 25,5-27 GHz;
- b) que la Conférence mondiale des radiocommunications (Genève, 2003) (CMR-03) est invitée, au titre du point 1.12 de son ordre du jour, à réexaminer l'attribution faite au service de recherche spatiale à proximité de 26 GHz;
- c) que le service de recherche spatiale a besoin de liaisons descendantes à large bande au-dessus de 25 GHz pour la transmission future de données scientifiques à haut débit;
- d) que les distances de séparation requises entre les stations terriennes de réception du service de recherche spatiale et les stations fixes d'émission sont relativement courtes (10 à 20 km généralement) parce que les effets de l'atmosphère, de l'affaiblissement dû à la végétation et de l'affaiblissement dans l'espace sont beaucoup plus importants qu'aux fréquences inférieures;
- e) que, actuellement, aucun projet d'utilisation de cette bande par le service mobile n'est connu;
- f) que certains pays utilisent cette bande pour les applications fixes haute densité,

reconnaissant

- a) qu'il existe déjà des limites de puissance surfacique dans le Tableau 21-4 du Règlement des radiocommunications (RR) qui s'appliquent au service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) bénéficiant d'attributions dans la même bande,

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) et des caractéristiques de propagation dans cette bande, 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 les satellites d'émission du service de recherche spatiale et les satellites relais de données (SRD) de réception exploités par le SIS à proximité de 26 GHz, sous réserve des contraintes suivantes:

- les satellites du service de recherche spatiale évoluant sur une orbite proche des orbites des satellites utilisant des systèmes à SRD ne devraient pas produire de puissance surfacique supérieure à $-155 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une largeur de bande de 1 MHz en tout point de l'orbite OSG pendant plus de 0,1% du temps;

* Cette Recommandation doit être portée à l'attention des Commissions d'études 4, 8 et 9 des radiocommunications.

- les satellites du service de recherche spatiale évoluant sur des orbites autres que celles susmentionnées ne devraient pas produire de puissance surfacique supérieure à $-155 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une largeur de bande de 1 MHz en tout point de l'orbite OSG pendant plus de 0,1% du temps;
- 2 de tenir compte, lors de la conception de systèmes du service de recherche spatiale, de la probabilité que ces systèmes subissent des brouillages causés par des satellites du SIS utilisant des systèmes à SRD pendant de courtes périodes. Ces brouillages ne devraient pas se produire pendant plus de 0,1% du temps;
- 3 que des systèmes du service de recherche spatiale respectent les limites de puissance surfacique ci-après à la surface de la Terre, dans des conditions supposées de propagation en espace libre, dans la bande 25,5-27 GHz:

Limite (dB(W/m²)) dans une largeur de bande de 1 MHz pour un angle d'arrivée δ au-dessus de l'horizontal		
$0^\circ\text{-}5^\circ$	$5^\circ\text{-}25^\circ$	$25^\circ\text{-}90^\circ$
-115	$-115 + 0,5(\delta - 5)$	-105

- 4 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 données dans la Recommandation UIT-R SA.609 pour déterminer les distances de séparation dont les stations terriennes du service de recherche spatiale ont besoin pour bénéficier d'une protection vis-à-vis des stations d'émissions des services fixe et mobile;
- 5 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 25,5-27 GHz par le service fixe.

Annexe 1

Faisabilité du partage de fréquences entre le service de recherche spatiale (espace vers Terre) et les SIS, SETS, services fixe et mobile dans la bande 25,5-27 GHz

1 Résumé des études techniques et opérationnelles et des Recommandations pertinentes de l'UIT-R

Des agences spatiales internationales envisagent actuellement de mettre en oeuvre des missions de recherche spatiale à liaisons 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 les orages magnétosphériques ou les éruptions solaires. A l'heure actuelle, la bande 8 450-8 500 MHz est la seule dont dispose à titre primaire le service de recherche spatiale 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 liaisons haut débit, une nouvelle attribution est nécessaire.

Il a été proposé d'attribuer la bande 25,5-27 GHz à titre primaire au service de recherche spatiale pour satisfaire à ces exigences. Les attributions actuelles dans la bande 25,5-27 GHz sont indiquées dans le Tableau 1. Elles comprennent des attributions à titre primaire aux services fixe, mobile, SETS (espace vers Terre) et SIS. Il existe également une attribution à titre secondaire faite au service des fréquences étalon et des signaux horaires par satellite (Terre vers espace). L'utilisation de ces attributions est de plus limitée par les renvois suivants: le renvoi 5.536 du RR, dans lequel sont énoncées les conditions d'utilisation de la bande par les stations du SIS; le renvoi 5.536A du RR, qui limite la protection accordée aux stations terriennes du SETS contre les émissions de stations des services fixe et mobile; le renvoi 5.536B du RR, qui limite encore davantage la protection et le statut des stations terriennes du SETS dans un certain nombre de pays.

TABLEAU 1

Attributions dans la bande 25,5-27 GHz

Attribution aux services		
Région 1	Région 2	Région 3
25,5-27	EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (espace vers Terre) 5.536A 5.536B FIXE INTER-SATELLITES 5.536 MOBILE Fréquences étalon et signaux horaires par satellite (Terre vers espace)	

5.536 L'utilisation de la bande 25,25-27,5 GHz par le service inter-satellites est limitée aux applications de la recherche spatiale et de l'exploration de la Terre par satellite, ainsi qu'à la transmission de données provenant d'activités industrielles et médicales dans l'espace.

5.536A Les administrations qui installent des stations terriennes du service d'exploration de la Terre par satellite ne peuvent pas prétendre à une protection vis-à-vis de stations des services fixe et mobile exploitées par des administrations voisines. En outre, les stations terriennes du service d'exploration de la Terre par satellite devraient tenir compte de la Recommandation UIT-R SA.1278. (CMR-2000)

5.536B Dans les pays suivants: Allemagne, Arabie saoudite, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Chine, Corée (Rép. de), Danemark, Egypte, Emirats arabes unis, Espagne, Estonie, Finlande, France, Hongrie, Inde, Iran (République islamique d'), Irlande, Israël, Italie, Jordanie, Kenya, Koweït, Liban, Libye, Liechtenstein, Lituanie, Moldova, Norvège, Oman, Ouganda, Pakistan, Philippines, Pologne, Portugal, Syrie, Slovaquie, Rép. tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Singapour, Suède, Suisse, Tanzanie, Turquie, Viet Nam et Zimbabwe, les stations terriennes du service d'exploration de la Terre par satellite fonctionnant dans la bande 25,5-27 GHz ne doivent pas prétendre à une protection vis-à-vis de stations des services fixe ou mobile ni limiter l'utilisation et la mise en place de ces stations. (CMR-97)

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 indique les principales caractéristiques d'exemples de systèmes point à point ou point à multipoint (P-MP) du service fixe dans la bande 25,5-27 GHz. Les critères de protection des stations du service fixe contre les émissions du service de recherche spatiale sont calculés au § 4. On

détermine au § 5 les brouillages causés aux stations terriennes de réception du service de recherche spatiale par les émissions de stations du service fixe. Les conditions de partage entre le service de recherche spatiale (espace vers Terre) et les SRD de réception sont examinées au § 6. La protection des liaisons du SETS fait l'objet du § 7. Les conclusions de la présente étude sont tirées au § 8. Etant donné qu'il n'existe aucune caractéristique connue des systèmes de service mobile exploités dans la bande des 26 GHz, aucune étude n'a été menée pour déterminer s'il existe des conditions additionnelles de partage.

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	On suppose que les limites de puissance surfacique données dans le Tableau 21-4 du RR protègent de façon appropriée les stations du service fixe
Stations d'émission du service fixe	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	SRD de réception Adjacent Quasi antipodale	On suppose une propagation en visibilité directe
Service de recherche spatiale (espace vers Terre) Satellite en orbite basse Satellite OSG	Station terrienne de réception du SETS	Des études complémentaires sont nécessaires

2 Caractéristiques des futures missions à liaisons 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 équatoriale, certains étant géostationnaires 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 les systèmes de service de recherche spatiale 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 le Tableau 21-4 du RR 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 celui de la Recommandation UIT-R SA.509. On a évalué la faisabilité de l'utilisation en partage sur la base des critères de protection donnés dans la Recommandation UIT-R SA.609.

TABLEAU 3

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

Fréquence (GHz)	26	
Altitude du satellite (km)	800	35 785
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)	0,35	0,88
Gain de l'antenne d'émission (dBi)	37,0	45,0
Ouverture à 3 dB du faisceau d'antenne (degrés)	2,32	0,92
p.i.r.e. (dBW)	43,5	57,5
Tolérance de bordure de faisceau (dB)	-3,0	
Affaiblissement sur le trajet (dB)	-188,2	-212,9
Densité spectrale de puissance surfacique (dB(W/(m ² · MHz)))	-118,0	-128,6
Gain de l'antenne de réception (dBi)	45,0	55,0
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)	18,1	17,4
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)	6,6	5,9

3 Caractéristiques principales d'exemples de systèmes point à point ou P-MP du service fixe

On trouvera dans la Recommandation UIT-R F.758 les caractéristiques de systèmes hertziens types du service fixe à utiliser pour les études de partage. Les caractéristiques principales des systèmes point à point sont indiquées dans le Tableau 4a. Le Tableau 4b fournit des renseignements similaires pour des exemples de systèmes P-MP.

TABLEAU 4a

**Caractéristiques de systèmes hertziens point à point du service fixe
utilisées pour les études de partage**
(Recommandation UIT-R F.758)

Bande de fréquences (GHz)	25,25-27		
Modulation	MDP-4	MAQ-16	MAQ-16
Capacité (Mbit/s)	6	52	156
Espacement des canaux (MHz)	10	20	60
Gain d'antenne (valeur maximale) (dBi)	46		
Affaiblissement dans la ligne d'alimentation/dans le multiplexeur (valeur minimale) (dB)	0		
Type d'antenne	Parabolique		
Puissance de sortie maximale de l'émetteur (dBW)	-3		
p.i.r.e. (valeur maximale) (dBW)	43		
Largeur de bande FI du récepteur (MHz)	5,3	18,6	55,6
Facteur de bruit du récepteur (dB)	8		
Bruit thermique du récepteur (dBW)	-128,9	-123,5	-118,7
Puissance d'entrée nominale du récepteur (dBW)	-112,2 + M	-100,0 + M	-95,2 + M
Puissance d'entrée du récepteur pour un TEB de 1×10^{-3} (dBW)	-116,2	-103,3	-98,5

TABLEAU 4b

**Caractéristiques de systèmes hertziens P-MP du service fixe
utilisées pour les études de partage**
(Recommandation UIT-R F.758)

Bande de fréquences (GHz)	25,25-27,5		
Modulation	MDP-4 MRF/MRT	MDP-4 MRF/MRT	MDP-4 MRF/MRT
Capacité	1 canal/50 MHz de largeur de bande	20 canaux/50 MHz de largeur de bande	20 canaux/50 MHz de largeur de bande
Espacement des canaux (MHz)	50	2,5	2,5
Condition	Par temps clair	Par temps clair	Avec évanouissements dus à la pluie
Gain d'antenne (valeur maximale) (dBi)	15	36	36
Affaiblissement dans la ligne d'alimentation/ dans le multiplexeur (valeur minimale) (dB)	0		
Type d'antenne	A cornet	Parabolique	Parabolique
Valeur maximale de la puissance de sortie de l'émetteur (dBW)	+10,0	-32,7	+4,0
Valeur maximale de la densité spectrale de puissance (dsp) de l'émetteur (dB(W/MHz))	-7,0	-36,7	0
Valeur maximale de la densité spectrale de p.i.r.e. (dB(W/MHz))	+8,0 ⁽¹⁾	-0,7	+36
p.i.r.e. (valeur maximale) (dBW)	25,0	3,3	40,0

⁽¹⁾ La valeur maximale de la densité spectrale de p.i.r.e. est conforme aux prescriptions du 1.1 du *recommande* de la Recommandation UIT-R F.1509.

4 Protection des stations du service fixe contre les émissions de stations du service de recherche spatiale

Les limites de puissance surfacique à respecter pour la protection des stations de réception des services fixe et mobile contre les émissions des systèmes spatiaux figurent dans la version actuelle du Tableau 21-4 du RR. Dans une largeur de bande de référence de 1 MHz, les limites de puissance surfacique sont les suivantes:

$-115 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$	pour $0^\circ < \delta \leq 5^\circ$
$-115 + 0,5(\delta - 5) \text{ dB(W/m}^2\text{)}$	pour $5^\circ < \delta \leq 25^\circ$
$-105 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$	pour $25^\circ < \delta \leq 90^\circ$

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

L'examen du Tableau 3 indique qu'il est possible de réaliser des liaisons espace vers Terre acheminant un débit de 400 Mbit/s tout en respectant les limites de puissance surfacique susmentionnées.

5 Protection des stations terriennes du service de recherche spatiale contre les émissions du service fixe

Les exemples de caractéristiques de systèmes point à point et P-MP du service fixe données dans les Tableaux 4a et 4b ont été utilisés 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. Il y est spécifié que la puissance des brouillages ne devrait pas dépasser -216 dB(W/Hz) pendant plus de 0,1% du temps pour les missions effectués sur les 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 1 MHz, ce qui correspond à un critère de puissance de brouillage de -156 dB(W/MHz) .

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 1 MHz la plus défavorable utilisée par les stations d'émission du service fixe énumérées dans les Tableaux 4a et 4b;
- 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 de niveau maximal et pour des émissions isotropes de stations du service fixe en direction de la station terrienne du service de recherche spatiale;
- 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).

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

La dsp d'une porteuse MDP-M ou MAQ-M modulée par un flux de données aléatoires est maximale autour de la fréquence de la 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 occupés par le signal émis (numérique)
- R_b : débit binaire combiné d'informations et de codage du signal émis (bit/s).

5.2 Distances de séparation types

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

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

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 (1 MHz)
- $G_T(\theta_{SF})$: 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 en utilisant les procédures données dans la Recommandation UIT-R SM.1448 pour:

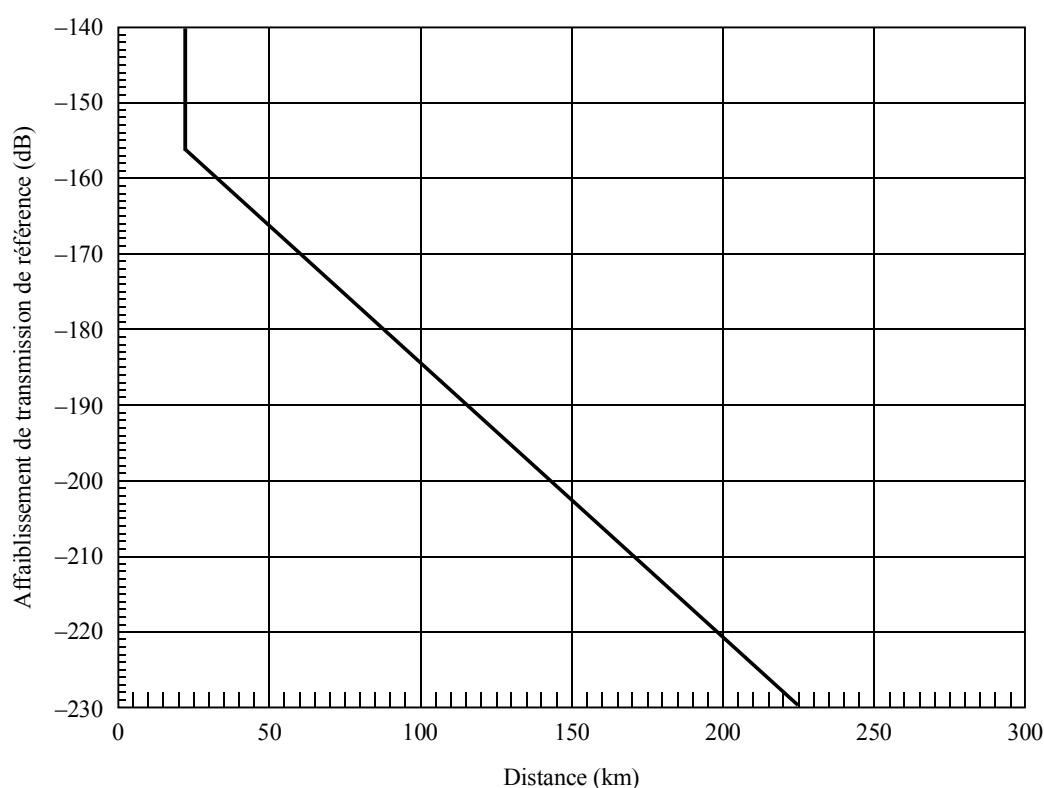
- une fréquence d'exploitation de 26 GHz;
- une propagation au-dessus d'une Terre régulière pour un trajet à l'intérieur des terres (zone A2);
- le mode (1) de propagation, lorsque l'affaiblissement de transmission minimal admissible est dépassé pendant plus de 0,1% du temps;

- 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 10 m au-dessus de la surface de la Terre.

La Fig. 1 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.

FIGURE 1

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:
 $f = 26 \text{ GHz}; h_1 = 10 \text{ m}; h_2 = 10 \text{ m}$



$f = 26 \text{ GHz}$

Hauteur de l'antenne d'émission = 10 m

Hauteur de l'antenne de réception = 10 m

Affaiblissement de propagation non dépassé pendant plus de 0,1% du temps

Zone climatique A2

1625-01

Les calculs permettant de déterminer les distances de séparation pour des stations point à point et P-MP sont recensés dans les Tableaux 5a et 5b. Il ressort du Tableau 5a que dans des conditions les plus favorables (c'est-à-dire lorsque le gain de l'antenne d'émission d'une station du service fixe est isotrope en direction de la station terrienne du service de recherche spatiale), on peut utiliser des distances de séparation inférieures à 24 km dans le cas des stations terriennes du service de recherche spatiale. Les distances de séparation peuvent aller jusqu'à 150 km dans le cas de stations terriennes du service de recherche spatiale lorsque l'antenne d'émission d'une station du service fixe présente un gain maximal en direction de la station terrienne du service de recherche spatiale.

TABLEAU 5a

Distances de séparation types entre une station terrienne de réception du service de recherche spatiale et une station d'émission point à point du service fixe à prévoir pour satisfaire aux critères de protection de la Recommandation UIT-R SA.609: $f = 26$ GHz; 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: 10 m au-dessus d'une Terre régulière

Modulation	MDP-4		MAQ-16		MAQ-16	
Capacité (Mbit/s)	6		52		156	
Puissance de sortie maximale de l'émetteur (dBW)	-3		-3			
Puissance crête/puissance moyenne (dB)	0		-3,5			
Réduction de la puissance de sortie (dB)			-1			
Affaiblissement dans la ligne d'alimentation/dans le multiplexeur (dB)	0		0			
dsp (dB(W/MHz))	-7,8		-18,6		-23,4	
Gain d'antenne en direction de la station terrienne du service de recherche spatiale (dB)	0	46	0	46	0	46
Densité spectrale de p.i.r.e. en direction de la station terrienne du service de recherche spatiale (dB(W/4 kHz))	-7,8	+38,2	-18,6	+27,4	-23,4	+22,6
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			
Critère de protection (dB(W/MHz))	-156					
Affaiblissement de transmission de référence minimal admissible (dB)	-155,2	-201,2	-144,4	-190,4	-139,6	-185,6
Distance de séparation (km)	24 ⁽¹⁾	150	< 20 ⁽²⁾	120	< 20 ⁽²⁾	100

⁽¹⁾ Cette distance est mesurée légèrement plus grande que la distance de visibilité directe.

⁽²⁾ Cette distance est inférieure à la distance de visibilité directe.

Le Tableau 5b montre que les distances de séparation associées aux systèmes P-MP du service fixe sont dans tous les cas inférieures à 64 km. On peut prévoir que les distances de séparation associées aux systèmes point à point et celles associées aux systèmes P-MP diminueront 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.

TABLEAU 5b

Distances de séparation types entre une station terrienne de réception du service de recherche spatiale et une station d'émission P-MP du service fixe à prévoir pour satisfaire aux critères de protection de la Recommandation UIT-R SA.609: $f = 26$ GHz; 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: 10 m au-dessus d'une Terre régulière

Modulation	MDP-4 (Station pivot)	MDP-4 (Station d'Abonné)	
Capacité	1 canal/50 MHz de largeur de bande	20 canaux/ 50 MHz de largeur de bande	
Puissance de sortie maximale de l'émetteur (dBW)	+10	-32,7	
Affaiblissement dans la ligne d'alimentation dans le multiplexeur (dB)	0		
dsp (dB(W/MHz))	-7,0	-36,7	
Gain d'antenne en direction de la station terrienne du service de recherche spatiale (dB)	15	0	36
Densité spectrale de p.i.r.e. en direction de la station terrienne du service de recherche spatiale (dB(W/MHz))	+8,0	-36,7	-0,7
Gain maximal de l'antenne de la station terrienne du service de recherche spatiale en direction de la station du service fixe (dBi)	+7		
Critère de protection (dB(W/MHz))	-156		
Affaiblissement de transmission de référence minimal admissible (dB)	-171	-130,3	-166,3
Distance de séparation (km)	64	< 20 ⁽¹⁾	50

⁽¹⁾ Cette distance est inférieure à la ligne de visibilité directe.

6 Protection des SRD contre les émissions de stations 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 quasi 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 évalue 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 -10,5 dB(W/MHz), 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 -16,5 dB(W/MHz), toujours d'après les caractéristiques du Tableau 3. 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/MHz))
- I_{CP} : critère de protection du SRD indiqué dans la Recommandation UIT-R SA.1155 (dB(W/MHz))
- M : marge par rapport au critère de brouillage (dB)
- L_{bf} : affaiblissement d'espace libre (dB)
- dsp : densité spectrale de puissance à l'entrée de l'antenne d'émission (dB(W/MHz))
- $G_T(\theta_T)$: gain de l'antenne d'émission 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. Il ressort de l'examen de ce Tableau que les émissions des satellites OSG ou non OSG du service de recherche spatiale auront une incidence négligeable sur les systèmes du SIS.

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: $f = 26$ GHz

	Cas 1	Cas 2	Cas 3
dsp (dB(W/MHz))	-10,5	-10,5	-16,5
$G_T(\theta_T)$	0	0	0
$G_R(\theta_R)$	0	0 58 ⁽¹⁾	58 ⁽¹⁾
Distance (km)	6,9	83 360	34 985 ⁽²⁾
Affaiblissement de transmission de référence (dB)	-137,5	-219,2	-211,6
I_R (dB(W/MHz))	-148	-229,7 -171,7	-170,1
I_{CP} (dB(W/MHz))	-148 ⁽³⁾	-148 ⁽³⁾	-148 ⁽³⁾
Marge (dB)	0	+81,7 +23,7	+22,1

⁽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⁾ Critère de protection tiré de la Recommandation UIT-R SA.1155 et ramené à une largeur de bande de référence de 1 MHz.

7 Protection des stations terriennes de réception du SETS contre les émissions (espace vers Terre) de satellites non OSG ou OSG du service de recherche spatiale

Des études complémentaires (utilisant de préférence les techniques de Monte Carlo) sont nécessaires pour déterminer les caractéristiques statistiques des brouillages causés à des stations terriennes de réception du SETS par les émissions de satellites non OSG ou OSG du service de recherche spatiale. On prévoit que la probabilité de brouillage causé à une station terrienne du SETS par les émissions d'un satellite non OSG ou OSG du service de recherche spatiale sera très petite: en effet, les systèmes à satellites du SETS et du service de recherche spatiale utiliseront tous deux des antennes d'émission à gain élevé sur les satellites et sur les stations terriennes de réception, afin de compenser l'affaiblissement de transmission de référence à 26 GHz. Par conséquent, des brouillages se produiront uniquement lorsque la discrimination de l'antenne du satellite d'émission ou de la station terrienne de réception sera petite. Des simulations de Monte Carlo sont nécessaires pour déterminer les caractéristiques statistiques des brouillages causés à une station terrienne de réception du SETS.

8 Résumé et conclusions

Les limites existantes de puissance surfaciques données dans le Tableau 21-4 du RR pour la bande 25,5-27 GHz devraient assurer la protection des systèmes point à point ou P-MP du service fixe contre les émissions espace vers Terre de satellites en orbite basse ou de satellites OSG en direction de stations terriennes de réception du service de recherche spatiale. Dans une largeur de bande de 1 MHz, ces limites sont les suivantes:

$-115 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$	pour $0^\circ < \delta \leq 5^\circ$
$-115 + 0,5(\delta - 5) \text{ dB(W/m}^2\text{)}$	pour $5^\circ < \delta \leq 25^\circ$
$-105 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$	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 point à point ou P-MP du service fixe présentant les caractéristiques données dans la Recommandation UIT-R F.758 peut être assurée pour des distances de séparation inférieures à 20 km dans des conditions favorables. Des distances de protection peuvent être nécessaires lorsque les distances de séparation sont inférieures à 150 km (dans des systèmes point à point) ou inférieures à 65 km (dans des systèmes P-MP) 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). 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 convient cependant de noter qu'une attribution additionnelle faite au service de recherche spatiale induirait de nouvelles contraintes lors de la coordination avec des systèmes du service fixe.

Il ressort de l'étude que les réseaux à SRD exploités dans le SIS seraient protégés contre les émissions des satellites en orbite basse ou OSG du service de recherche spatiale 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 7 km (ce qui équivaut à une séparation orbitale de moins de $0,01^\circ$). On a également observé qu'une marge de protection minimale de +23,7 dB existait lorsqu'un satellite OSG du service de recherche spatiale en position quasi 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 et se trouvant dans le champ du faisceau principal de l'antenne de réception du SRD. Dans ce cas, la marge de brouillage par rapport au critère de protection donné dans la Recommandation UIT-R SA.1155 était de +22 dB.

Des études complémentaires (utilisant de préférence les techniques de Monte Carlo) sont nécessaires pour déterminer les caractéristiques statistiques des brouillages causés à des stations terriennes de réception du SETS par les émissions de satellites non OSG ou OSG du service de recherche spatiale.
