

RECOMMANDATION UIT-R SA.1016

RECHERCHE DANS L'ESPACE LOINTAIN: CONSIDÉRATIONS RELATIVES AU PARTAGE

(Question UIT-R 210/7)

(1994)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

a) que les possibilités de partage des fréquences entre des stations du service de recherche dans l'espace lointain et des stations d'autres services sont exposées dans l'Annexe 1,

recommande

1. que, sous réserve d'une coordination, le service de recherche dans l'espace lointain peut utiliser en partage avec des stations d'autres services des bandes de fréquences dans le sens Terre-espace, à l'exception toutefois:
 - des stations de réception du service mobile aéronautique, des stations de réception de satellites, des satellites avec détecteurs à hyperfréquences lorsque ces systèmes risquent de se trouver en visibilité directe;
 - des stations de réception des services mobiles qui sont situées dans les limites de la distance de séparation requise pour la protection contre les brouillages;
 - des stations d'émission de Terre ayant une p.i.r.e. supérieure à 81 dBW dans les bandes voisines de 2 GHz et à 84 dBW dans les bandes voisines de 7 GHz;
2. que, sous réserve d'une coordination, le service de recherche dans l'espace lointain peut utiliser en partage avec des stations d'autres services des bandes de fréquences dans le sens espace-Terre, à l'exception toutefois:
 - du service de radioastronomie;
 - des stations d'émission du service mobile aéronautique, des stations d'émission des services par satellite, des satellites avec détecteurs actifs à hyperfréquences, lorsque ces systèmes risquent de se trouver en visibilité directe;
 - des stations d'émission des services mobiles qui sont situées dans les limites de la distance de séparation requise pour la protection contre les brouillages.

ANNEXE 1

**Recherche dans l'espace lointain:
considérations relatives au partage des fréquences**

1. Partage des fréquences: bandes Terre-espace attribuées au service de recherche dans l'espace lointain

Dans le Tableau 1 et les paragraphes suivants, on étudie la possibilité de brouillage dans les bandes Terre-espace attribuées au service de recherche dans l'espace lointain.

TABLEAU 1

Risque de brouillage dans les bandes Terre-espace

| Source | Récepteur |
|---|--|
| Station terrienne de recherche dans l'espace lointain | Station de Terre ou terrienne |
| Station terrienne de recherche dans l'espace lointain | Satellite sur orbite terrestre |
| Station de Terre ou terrienne | Station spatiale de recherche dans l'espace lointain |
| Satellite à proximité de la Terre | Station spatiale de recherche dans l'espace lointain |

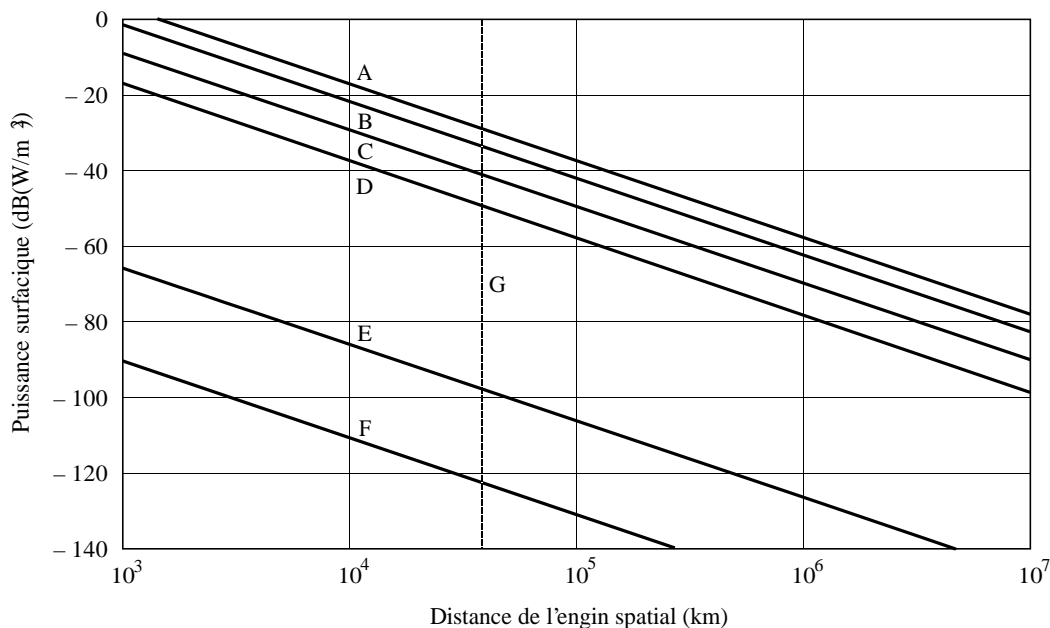
1.1 Risque de brouillage des récepteurs de stations de Terre ou terriennes par des émetteurs de stations terriennes de recherche dans l'espace lointain

La puissance totale maximale des stations terriennes de recherche dans l'espace lointain est normalement de 50 dBW. Pour un angle d'élévation minimal de 10° , la p.i.r.e. en direction de l'horizon ne dépasse pas 57 dB(W/4 kHz), si l'on se fonde sur le diagramme de rayonnement de référence donné dans la Recommandation UIT-R SA.509 pour une antenne de station terrienne. Si un engin spatial se trouve dans une situation critique, la puissance maximale peut être portée à 56 dBW, ce qui correspond à un maximum de 63 dB(W/4 kHz) à l'horizon. Ces valeurs de la p.i.r.e. satisfont aux limites indiquées dans le numéro 2540 du Règlement des radiocommunications (RR).

Dans la zone de visibilité directe d'une station terrienne de recherche dans l'espace lointain, la puissance surfacique totale au niveau d'une station d'aéronef peut prendre les valeurs indiquées à la Fig. 1. Pour un aéronef volant à 12 km d'altitude, la distance maximale de visibilité directe jusqu'à une station terrienne est de 391 km et la puissance surfacique totale à l'endroit où se trouve l'aéronef ne peut donc jamais être inférieure à -83 dB(W/m²), si l'on se fonde, ici également, sur le diagramme d'antenne de la Recommandation UIT-R SA.509. Selon la distance et la direction de pointage de l'antenne de la station terrienne, la puissance surfacique et l'intensité du brouillage au niveau de la station d'aéronef peuvent être bien plus élevées. Une coordination avec les stations d'aéronef n'est généralement pas possible en pratique.

FIGURE 1

Puissance surfacique en fonction de la distance par rapport à la station terrienne



Emetteur: station terrienne de l'espace lointain: 100 kW
diamètre d'antenne: 70 m

- A: lobe principal, 34,5 GHz
- B: lobe principal, 17 GHz
- C: lobe principal, 7 170 MHz
- D: lobe principal, 2 115 MHz
- E: 5° par rapport à l'axe principal (14,5 dBi, Recommandation UIT-R SA.509)
- F: $> 48^\circ$ par rapport à l'axe principal (gain: -10 dBi, Recommandation UIT-R SA.509)
- G: altitude de l'orbite des satellites géostationnaires: 35 800 km

D01

Les phénomènes de superréfraction, de guidage et de diffusion par les précipitations peuvent faire que les signaux émis par des émetteurs de stations terriennes de recherche dans l'espace lointain sont transmis jusqu'à des récepteurs de Terre et d'autres stations terriennes. Sauf dans le cas des récepteurs de Terre installés à bord d'aéronefs, généralement la coordination dans de telles conditions est possible. Pour le brouillage par des émetteurs d'aéronefs, voir le § 2.3 et pour les considérations relatives à la coordination, voir le § 3.

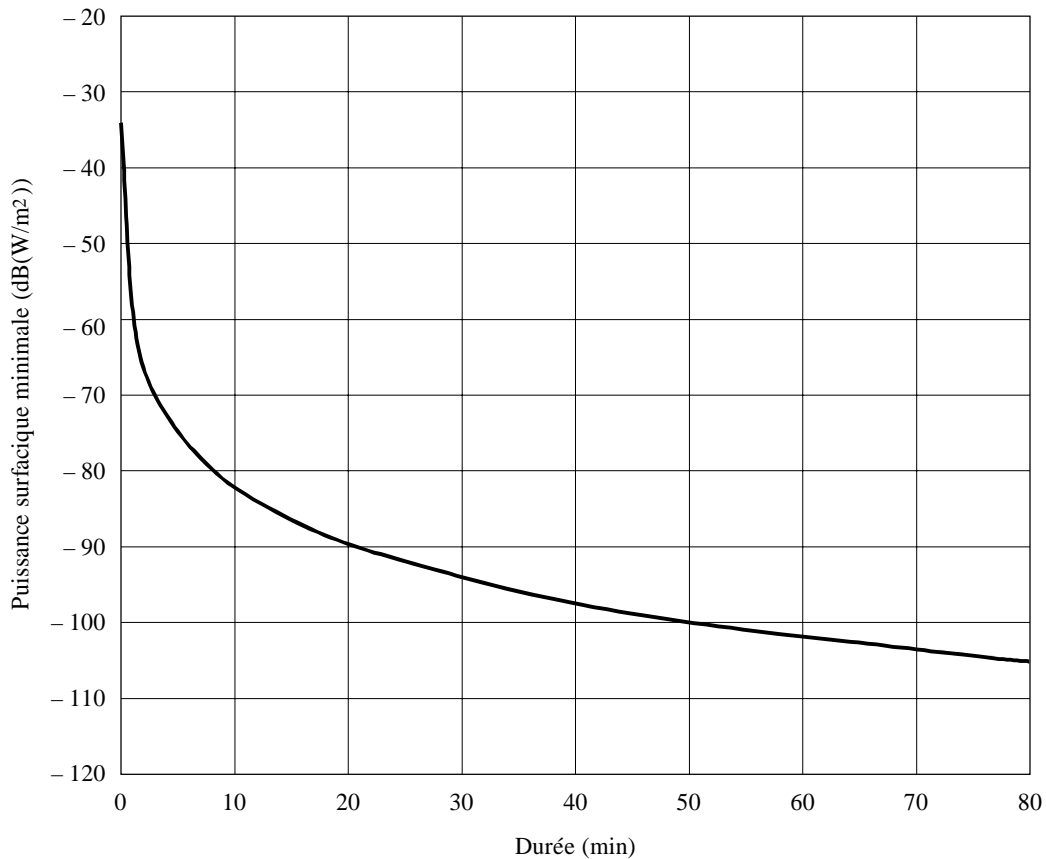
1.2 *Risque de brouillage des récepteurs des satellites par les émetteurs de stations terriennes de recherche dans l'espace lointain*

La puissance surfacique au niveau des satellites qui entrent dans le faisceau d'une station terrienne de recherche dans l'espace lointain prendra les valeurs indiquées à la Fig. 1. Lorsque la station terrienne poursuit un engin spatial dont la direction est telle que le faisceau de l'antenne coupe l'orbite des satellites géostationnaires (OSG), la puissance surfacique en ce point de l'orbite variera en fonction du temps selon la courbe de la Fig. 2. Ainsi, la puissance surfacique totale sera par exemple de $-95 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ ou plus pendant 32 min. Les données de la figure reposent sur l'hypothèse suivante: émetteur d'une puissance de 50 dBW, antenne de 70 m et diagramme de rayonnement de référence de la Recommandation UIT-R SA.509 pour l'antenne de la station terrienne. Une observation importante est que la puissance surfacique minimale sur l'OSG, en visibilité directe d'une station terrienne de recherche dans l'espace lointain, est d'au moins $-122 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$, quelle que soit la direction de pointage de l'antenne.

La durée et l'intensité des signaux émis par les stations terriennes de recherche dans l'espace lointain qui peuvent brouiller des satellites non géostationnaires, dépendent des orbites de ces satellites et des conditions de la direction de pointage de l'antenne de la station terrienne.

FIGURE 2

Durée pendant laquelle la puissance surfacique peut, en un point de l'OSG, dépasser une valeur minimale



Emetteur: station terrienne de l'espace lointain: 100 kW
diamètre d'antenne: 70 m, 34,5 GHz

D02

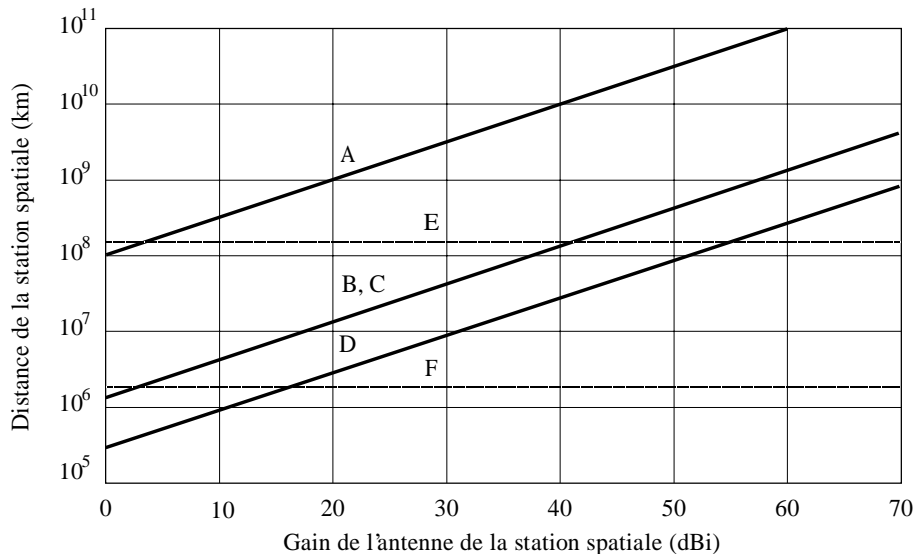
1.3 *Risque de brouillage des récepteurs des stations spatiales de recherche dans l'espace lointain par des émetteurs de stations de Terre ou terriennes*

Les émetteurs de stations de Terre ou terriennes situés en visibilité directe d'une station spatiale de recherche dans l'espace lointain sont des sources potentielles de brouillage. La Fig. 3 indique la distance de la station spatiale à laquelle la densité de puissance brouilleuse d'un émetteur de Terre est égale à la densité de puissance de bruit du récepteur. Ainsi, une station transhorizon ayant une p.i.r.e. de 93 dB(W/10 kHz) dans la bande des 2,1 GHz pourrait brouiller un récepteur de station spatiale à des distances allant jusqu'à $4,1 \times 10^9 \text{ km}$ (pour une température de bruit de 600 K et une antenne de l'engin spatial de 3,7 m). Le fait qu'un brouillage soit possible à des distances aussi grandes

pose des problèmes pour les missions spatiales dans des régions aussi lointaines que la planète Uranus. Les stations ayant une p.i.r.e. plus faible, ou dont les antennes sont dirigées hors du plan de l'écliptique, présentent moins de risques en tant que sources de brouillage.

FIGURE 3

Distance d'un engin spatial par rapport à un émetteur de Terre, pour laquelle la puissance du signal brouilleur est égale à la puissance de bruit du récepteur



- A: émetteur transhorizon: 2 115 MHz
p.i.r.e.: 93 dB(W/10 kHz)
puissance de bruit du récepteur: -191 dB(W/20 Hz)
- B: émetteur de radiolocalisation: 34,5 GHz
p.i.r.e.: 48,8 dB(W/Hz)
puissance de bruit du récepteur: -182,6 dB(W/20 Hz)
- C: émetteur de radiolocalisation: 17 GHz
p.i.r.e.: 40,9 dB(W/20 Hz)
puissance de bruit du récepteur: -186 dB(W/20 Hz)
- D: émetteur de faisceaux hertziens: 7 170 MHz
p.i.r.e.: 55 dB(W/10 kHz)
puissance de bruit du récepteur: -189 dB(W/20 Hz)
- E: 1 UA = $1,5 \times 10^8$ km
- F: limite intérieure de l'espace lointain: 2×10^6 km

D03

1.4 Risque de brouillage des récepteurs de stations dans l'espace lointain par des émetteurs de satellites sur orbite terrestre

Les antennes de ces satellites sont généralement pointées vers la Terre ou vers d'autres satellites. Les récepteurs de stations spatiales de recherche dans l'espace lointain peuvent être brouillés pendant les brèves périodes où l'antenne est orientée de manière à permettre le couplage du faisceau principal. Les signaux des satellites tels qu'ils seront reçus par les stations spatiales dans l'espace lointain seront habituellement plus faibles que ceux reçus en provenance des stations terriennes.

2. Partage des fréquences: bandes espace-Terre

Dans le Tableau 2 et les paragraphes suivants, on étudie la possibilité de brouillage dans les bandes espace-Terre attribuées au service de recherche dans l'espace lointain.

TABLEAU 2

Risque de brouillage dans les bandes espace-Terre

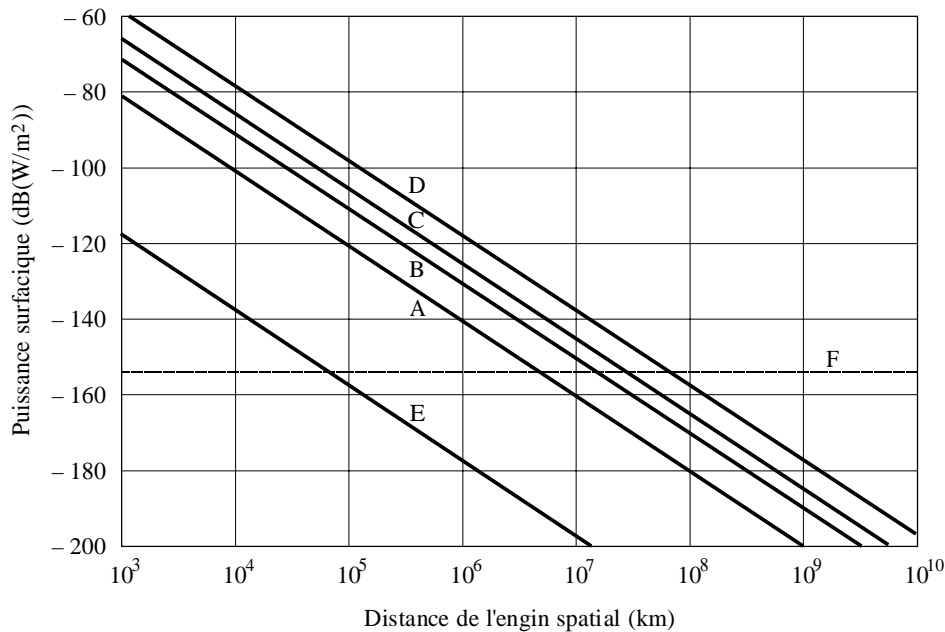
| Source | Récepteur |
|---|---|
| Station de recherche dans l'espace lointain | Station terrienne ou de Terre |
| Station de recherche dans l'espace lointain | Satellite sur orbite terrestre |
| Station terrienne ou de Terre | Station terrienne de recherche dans l'espace lointain |
| Satellite sur orbite terrestre | Station terrienne de recherche dans l'espace lointain |

2.1 *Risque de brouillage des récepteurs de stations de Terre ou terriennes par les émetteurs de stations spatiales de recherche dans l'espace lointain*

La Fig. 4 indique la puissance surfacique au sol produite par des stations spatiales types de recherche dans l'espace lointain. Ces stations utilisent normalement des antennes à large faisceau et à faible gain tant qu'elles sont à proximité de la Terre; six heures au plus après le lancement, elles sont habituellement à une distance suffisante pour que la puissance surfacique au sol soit inférieure à la valeur maximale admise par le RR pour la protection des faisceaux hertziens à visibilité directe.

FIGURE 4

Puissance surfacique à la surface de la Terre en fonction de la distance de l'engin spatial



- A: émetteur: 13 dBW, gain d'antenne: 37 dBi, 2 295 MHz
 B: émetteur: 13 dBW, gain d'antenne: 48 dBi, 8 425 MHz
 C: émetteur: 13 dBW, gain d'antenne: 52 dBi, 13 GHz
 D: émetteur: 13 dBW, gain d'antenne: 60 dBi, 32 GHz
 E: émetteur: 13 dBW, gain d'antenne: 0 dBi
 F: puissance surfacique: -154 dB(W/m²), numéro 2557 du RR

D04

Lorsque la station spatiale émettrice utilise une antenne directive à gain élevé, il y a un risque de brouillage pour les récepteurs de Terre à grande sensibilité, si les antennes de ces récepteurs sont orientées de manière à permettre le couplage du faisceau principal. Une station spatiale fonctionnant à 2,3 GHz avec une p.i.r.e. de 51 dBW, à une distance de 5×10^8 km, pourrait soumettre un récepteur transhorizon (antenne de 27 m, faisceau principal) à un signal brouilleur de -168 dBW. La durée de ce brouillage serait de l'ordre de quelques minutes une fois par jour, du fait de la rotation de la Terre.

2.2 *Risque de brouillage des récepteurs de satellites sur orbite terrestre par les émetteurs de stations spatiales de recherche dans l'espace lointain*

Les caractéristiques de ce brouillage sont les mêmes que dans le cas station spatiale-récepteur de Terre (voir le § 2.1), sauf en ce qui concerne la géométrie du trajet. Un brouillage occasionnel de courte durée peut se produire lorsque cette géométrie varie.

2.3 *Risque de brouillage des récepteurs de stations terriennes de recherche dans l'espace lointain par des émetteurs de stations de Terre ou terriennes*

Les récepteurs de stations terriennes de recherche dans l'espace lointain peuvent être brouillés par des stations terriennes ou de Terre par transmission en visibilité directe ou par diffusion troposphérique ou diffusion par les précipitations. Voir le § 3 pour les considérations relatives à la coordination.

Les services de Terre utilisant des émetteurs à grande puissance et des antennes à gain élevé sont des sources potentielles de brouillage. Les émetteurs des stations terriennes sont des sources de brouillage moins probables; la probabilité dépend de la p.i.r.e. en direction de la station terrienne de recherche dans l'espace lointain. Des mesures de coordination devraient permettre d'obtenir une protection suffisante à l'égard des stations de faisceaux hertziens.

Les émetteurs d'aéronefs situés en visibilité directe d'une station terrienne de recherche dans l'espace lointain peuvent causer un brouillage de grande intensité. A la distance maximale de visibilité directe dans une direction quelconque (391 km pour un aéronef volant à 12 km d'altitude), une p.i.r.e. de -26 dB(W/Hz) (par exemple, 10 dB(W/4 kHz), antenne de 0 dBi) dépassera la limite de brouillage de la station terrienne d'au moins la valeur indiquée au Tableau 3, si l'on se fonde sur le diagramme de référence d'une station terrienne.

TABLEAU 3

Brouillage causé par un émetteur d'aéronef hypothétique

| Fréquence (GHz) | Densité spectrale de puissance de brouillage maximale admissible (dB(W/Hz)) | Valeur de dépassement de la puissance de brouillage maximale admissible par le signal brouilleur de l'aéronef ⁽¹⁾ (dB) |
|-----------------|---|---|
| 2,3 | -222,5 | 35,0 |
| 8,4 | -220,9 | 22,1 |
| 13,0 | -220,5 | 17,9 |
| 32,0 | -217,3 | 6,9 |

⁽¹⁾ Différence entre le signal de l'aéronef et la limite de brouillage de la station terrienne de recherche dans l'espace lointain.

Les émetteurs de radionavigation installés à bord d'aéronefs pouvant fonctionner dans la région des 32 GHz constituent un exemple particulier de sources possibles de brouillage préjudiciable causé à des récepteurs de stations terriennes de recherche dans l'espace lointain. Cette catégorie d'émetteurs présente une grande variété de caractéristiques: puissance de sortie; signaux en ondes entretenues, modulation par impulsions ou modulation de fréquence linéaire; antennes fixes ou à balayage à faisceaux étroits ou larges. La probabilité et l'intensité du brouillage d'un émetteur donné peuvent être déterminées cas par cas, mais cela n'entre pas dans le cadre de cette Annexe. Toutefois, on constate habituellement que si un émetteur de radionavigation installé à bord d'un aéronef est situé en visibilité directe du récepteur d'une station terrienne, le niveau de brouillage maximal admissible peut être dépassé pendant une durée suffisamment longue pour provoquer une dégradation ou une interruption du service.

Une coordination avec les stations d'aéronef n'est généralement pas possible en pratique.

2.4 *Risque de brouillage des récepteurs de stations terriennes de recherche dans l'espace lointain par les émetteurs de satellites sur orbite terrestre*

Le Rapport 688 de l'ex-CCIR (Genève, 1982) étudie le risque de brouillage dans la bande 2 290-2 300 MHz dû à des satellites évoluant sur des orbites très excentriques. Dans ce Rapport, on conclut que le partage n'est pas possible en pratique. Cette conclusion est également valable pour les satellites évoluant sur des orbites circulaires à faible excentricité.

2.5 *Risque de brouillage des récepteurs de stations terriennes de recherche dans l'espace lointain par des satellites en orbite autour de la Terre émettant vers un satellite relais géostationnaire*

Le Tableau 4 analyse une situation dans laquelle une liaison entre un engin spatial utilisateur et un satellite relais de données (SRD) géostationnaire frôle la surface de la Terre à proximité de l'emplacement d'une station terrienne de recherche dans l'espace lointain. On suppose que le faisceau principal de l'antenne de la station terrienne est dirigé vers le satellite utilisateur. Une marge de brouillage négative signifie que le critère de protection du récepteur de la station terrienne n'a pas été respecté.

TABLEAU 4

Brouillage dû à une liaison entre un satellite relais et une station terrienne de recherche dans l'espace lointain (32 GHz)

| | | |
|--|--------|---------|
| Altitude du satellite utilisateur du SRD (km) | 500,0 | 1 000,0 |
| Puissance de l'émetteur (dBW) | 10,0 | 10,0 |
| Conversion de la largeur de bande (MDP-4 à 300 Mbit/s) (dB/Hz) | -84,8 | -84,8 |
| Gain de l'antenne d'émission (dBi) | 52,0 | 52,0 |
| Réduction du gain en dehors de l'axe (dB) | -39,3 | -32,3 |
| Affaiblissement sur le trajet (32,1 GHz) (dB) | -184,7 | -190,2 |
| Gain d'antenne d'une station terrienne (dBi) | 83,6 | 83,6 |
| Brouillage reçu (dB(W/Hz)) | -163,2 | -161,7 |
| Critère de brouillage préjudiciable (dB(W/Hz)) | -217,3 | -217,3 |
| Marge de brouillage (dB) | -54,1 | -55,6 |

Pour ramener à 0 dB la marge négative de brouillage indiquée dans le tableau, le satellite utilisateur du SRD doit se tenir à une distance d'au moins $1,7^\circ$ de l'axe du faisceau principal de l'antenne de la station terrienne. Si cette station poursuit chaque jour un engin spatial donné dans l'espace lointain et si le satellite utilisateur du SRD coupe le faisceau de l'antenne de la station terrienne à un moment précis d'un jour donné, le satellite coupe alors le faisceau à moins de $1,7^\circ$ de son axe et à une fréquence comprise entre une fois tous les 12 jours et une fois par jour. Cette fréquence dépend de la période de l'orbite du satellite. Par exemple, un satellite dont la période d'orbite est de 84 min peut produire tous les 7 jours une marge négative de brouillage pendant une période dont la durée peut aller jusqu'à 0,8 min.

Si dans certains services radioélectriques, une durée de brouillage inférieure à 1 min n'a que peu d'importance, cette durée peut provoquer dans le service de recherche spatiale une perte de données scientifiques irremplaçables, et ce, pendant plusieurs minutes. (Voir le § 1.1).

L'analyse présentée ci-dessus est prudente car elle envisage seulement le cas d'un satellite utilisateur unique et d'une seule station terrienne de recherche dans l'espace lointain. Un nombre plus important de satellites augmenterait la probabilité de brouillage. On peut en conclure que le partage des bandes entre le service de recherche dans l'espace lointain et les liaisons qui relient des engins spatiaux et des satellites relais géostationnaires n'est pas possible.

3. Discussion

3.1 *Intersections d'orbites de satellites et de faisceaux d'antennes de stations terriennes de recherche dans l'espace lointain*

La probabilité pour qu'un satellite se trouve dans le faisceau principal de l'antenne d'une station terrienne de recherche dans l'espace lointain influe fortement sur la possibilité de partage des bandes entre les liaisons en question.

On a analysé les statistiques sur le pointage des antennes pour tout un ensemble de missions dans l'espace lointain. On a constaté que le gain de l'antenne de la station terrienne dans la direction de l'OSG sera de 10 dBi ou plus pendant 20% du temps.

Les satellites non géostationnaires peuvent traverser chaque jour un ou plusieurs faisceaux de poursuite dans l'espace lointain. Des précisions sur les statistiques de visibilité et les durées de séjour dans le faisceau pour les satellites sur orbite basse sont données dans le Rapport UIT-R SA.684 (Rapport 684 de l'ex-CCIR (Düsseldorf, 1990)).

3.2 *Coordination et partage*

Du fait de la p.i.r.e. très élevée et de l'extrême sensibilité des stations terriennes de recherche dans l'espace lointain, les zones de coordination ont habituellement des dimensions exceptionnelles.

Le partage avec des stations en visibilité directe de stations terriennes de recherche dans l'espace lointain n'est pas possible. Les stations situées en visibilité directe causeront en effet un brouillage excessif aux récepteurs des stations terriennes de recherche dans l'espace lointain, à moins qu'elles ne subissent un brouillage excessif de la part des émetteurs desdites stations. Les stations du service mobile aéronautique et les satellites en orbite terrestre se trouvent fréquemment en visibilité directe des stations terriennes de recherche dans l'espace lointain.

Le partage des bandes Terre-espace attribuées à la recherche dans l'espace lointain avec des stations utilisant une p.i.r.e. moyenne élevée n'est pas possible en raison du risque de causer un brouillage aux stations dans l'espace lointain. On considère actuellement que les stations dont la p.i.r.e. est inférieure d'au moins 30 dB à celle appliquée ou prévue pour les stations terriennes de recherche spatiale ne posent pas de problème important. Typiquement, cela implique une p.i.r.e. moyenne égale ou inférieure à 81 dBW à 2 GHz, et 84 dBW à 7 GHz.

4. Conclusions

Les critères et considérations exposés dans cette Annexe permettent de tirer les conclusions suivantes.

4.1 *Partage des bandes Terre-espace*

Sous réserve de coordination, le service de recherche dans l'espace lointain peut partager des bandes Terre-espace avec des stations d'autres services, à l'exception toutefois:

- des stations mobiles aéronautiques de réception, des stations de réception de satellite ainsi que des satellites avec détecteurs à hyperfréquences, lorsque ces stations ou ces satellites sont susceptibles de se trouver en visibilité directe;
- des stations mobiles de réception qui peuvent se trouver en deçà de la distance de séparation requise pour la protection contre les brouillages;
- des stations d'émission de Terre utilisant une p.i.r.e. moyenne supérieure à 81 dBW dans la région des 2 GHz et 84 dBW dans la région des 7 GHz.

4.2 *Partage des bandes espace-Terre*

Sous réserve de coordination, le service de recherche dans l'espace lointain peut partager des bandes espace-Terre avec des stations d'autres services, à l'exception toutefois:

- du service de radioastronomie;
 - des stations mobiles aéronautiques d'émission, des stations d'émission de satellite et des satellites à détecteurs actifs à hyperfréquences, lorsque ces stations ou ces satellites sont susceptibles de se trouver en visibilité directe;
 - des stations mobiles d'émission qui peuvent se trouver en deçà de la distance de séparation requise pour la protection contre les brouillages.
-