

RECOMMANDATION UIT-R SA.609-2*

**Critères de protection pour les liaisons de radiocommunication
avec les satellites** de recherche habités ou non,
proches de la Terre*****

(1986-1992-2006)

Domaine de compétence

La présente Recommandation spécifie les critères de protection nécessaires pour contrôler, commander et exploiter avec succès les satellites de recherche habités ou non, proches de la Terre.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les critères de la limitation des brouillages pour les liaisons de radiocommunication avec les satellites de recherche proches de la Terre sont déterminés sur la base de considérations techniques exposées dans l'Annexe 1;
- b) que, d'après l'expérience acquise, on peut prévoir que l'on aura simultanément sur orbite jusqu'à cent satellites actifs de recherche proches de la Terre, ou même davantage;
- c) que le nombre des missions de recherche dans l'espace proche de la Terre effectuées par satellites habités ou non va en s'accroissant;
- d) que des radiocommunications à double sens doivent être assurées par de nombreuses missions à proximité de la Terre et sont d'une importance vitale dans les missions faisant appel à des engins spatiaux habités;
- e) que les valeurs types des températures de bruit de fonctionnement des stations terriennes peuvent être aussi basses que 70 K (équivalent à -210 dB(W/Hz)) dans la gamme des fréquences 1-30 GHz;
- f) que les valeurs types des températures de bruit de fonctionnement des stations spatiales sont proches de 600 K (équivalent à -171 dB(W/kHz)) dans la gamme des fréquences inférieures à 30 GHz environ;
- g) que les marges pour les liaisons types espace-Terre ou espace-espace sont faibles, couramment comprises entre 3 et 6 dB;
- h) qu'un accroissement de 1 dB du bruit total du système, causé par le brouillage, est considéré comme préjudiciable;

* Cette Recommandation doit être portée à l'attention des Commissions d'études 1, 4, 6, 8 et 9.

** Par proche de la Terre on entend l'espace situé à plus de 2×10^6 km de la Terre.

*** Les critères de protection pour la recherche dans l'espace lointain sont donnés dans la Recommandation UIT-R SA.1157.

- j) qu'un rapport bruit/brouillage d'environ 6 dB entraîne un accroissement de 1 dB des températures globales de fonctionnement des systèmes;
- k) que des limitations techniques peuvent réduire l'accroissement de puissance des engins spatiaux utilisés pour réduire le brouillage;
- l) que le partage des fréquences entre les satellites proches de la Terre du service de recherche spatiale et les stations d'autres services peut susciter des difficultés,

recommande

1 que les critères de protection pour les stations terriennes du service de recherche spatiale (voir l'Annexe 1) soient les suivants:

1.1 -216 dB(W/Hz) aux bornes d'entrée du récepteur pour les bandes de la gamme de fréquences 1-20 GHz et -156 dB(W/MHz) pour les bandes de la gamme de fréquences 20-30 GHz. Pour des fréquences inférieures à 1 GHz, le niveau admissible peut être augmenté à raison de 20 dB par décade de fréquence décroissante;

1.2 le calcul du brouillage que peuvent causer les conditions atmosphériques et les précipitations devrait être fondé sur des statistiques météorologiques pour 0,001% du temps pour les missions effectuées sur des engins spatiaux habités et pour 0,1% du temps pour les autres missions¹;

2 que le critère de protection pour les stations spatiales de recherche proches de la Terre (voir l'Annexe 1) soit le suivant: -177 dB(W/kHz) aux bornes d'entrée du récepteur pour 0,1% du temps (pour des engins habités ou non) pour les bandes de la gamme de fréquences 100 MHz-30 GHz;

3 que l'on généralise dans toute la mesure possible le partage des fréquences entre les satellites proches de la Terre du service de recherche spatiale;

4 que l'on tienne compte des difficultés éventuelles que peut susciter le partage des fréquences entre les satellites proches de la Terre du service de recherche spatiale et certains types de stations des autres services;

5 que l'on tienne compte des difficultés que peut susciter le partage des fréquences entre les satellites dans l'espace proche de la Terre et les engins spatiaux dans l'espace lointain au sein du service de recherche spatiale.

Annexe 1

Critères de protection relatifs à des systèmes de recherche spatiale au voisinage de la Terre

1 Introduction

Une grande partie du spectre des fréquences radioélectriques convenant aux systèmes de recherche spatiale est également attribuée à un ou à plusieurs autres services; dans ces conditions, il est nécessaire de prévoir un partage des fréquences entre ces services. La présente Annexe traite des facteurs qui affectent la sensibilité au brouillage des systèmes du service de recherche spatiale et

¹ En cas de transmissions par impulsions, il ne faut pas tenir compte du cycle d'utilisation de l'émetteur dans le calcul du pourcentage de temps pendant lequel le niveau de brouillage est dépassé.

elle établit des critères de protection appropriés pour ce service travaillant dans les bandes de fréquences allant jusqu'à environ 30 GHz. Les critères de protection sont destinés à être utilisés dans les analyses de brouillage, dans les cas où l'on ne dispose pas de données sur les systèmes.

2 Considérations générales

Quatre types de fonctions de radiocommunication sont nécessaires dans la recherche spatiale: la télécommande, la télémétrie de maintenance, le transfert des données scientifiques mises en mémoire et des données scientifiques en temps réel.

En ce qui concerne la télécommande, un principe fondamental de conception de la plupart des engins de recherche spatiale est qu'aucune erreur de commande ne doit entraîner l'échec complet d'une mission et qu'aucune commande ne doit pouvoir bloquer le système dans un certain état. Comme, en général, il existe une dépendance importante et inévitable vis-à-vis du système de télécommande de l'engin lors des phases délicates d'une mission, par exemple, pendant les séquences de lancement et d'injection sur orbite ou lors d'une situation d'urgence, un brouillage durant ces périodes délicates pourrait compromettre gravement la mission.

Les données de télémétrie de maintenance peuvent être mémorisées, ou échantillonnées et transmises en temps réel. Sauf pendant les périodes délicates, comme les séquences de lancement et d'injection sur orbite, les situations d'urgence, ou pendant le transfert des données biomédicales de l'équipage, le système de télémétrie de maintenance tolère assez bien des interruptions et des brouillages. Lors des périodes délicates, les lectures doivent évidemment être extrêmement fiables. L'utilisation de ces données à des fins de diagnostic montre clairement qu'à certains moments critiques d'une mission, il peut y avoir de longues périodes (plusieurs heures) pendant lesquelles le système de télémétrie de maintenance doit être protégé des brouillages préjudiciables. Pendant d'autres périodes de la mission, cette fonction peut supporter une interruption limitée sans conséquences graves.

Les données scientifiques mémorisées peuvent généralement être lues plus d'une fois pour la détection des erreurs. C'est probablement la catégorie de données qui tolère le mieux les brouillages de durée limitée. Les données non mémorisées, destinées à être utilisées en temps réel, sont les plus sensibles au brouillage, car leur émission n'a lieu qu'une seule fois et ne peut être répétée. Elles peuvent représenter l'information la plus précieuse fournie par un engin spatial coûteux et c'est pourquoi il est impératif que cette catégorie de données soit bien protégée contre les interruptions ou les dégradations. En général, on connaît plusieurs heures à l'avance le moment où seront reçues les données intéressantes non mémorisées.

De nombreux systèmes de recherche spatiale utilisent des techniques de modulation MIC-MPD-MP et des circuits à verrouillage de phase pour la démodulation des ondes porteuses et des sous-porteuses du système. Les transmissions à débit binaire élevé sont généralement basées sur la modulation MDP-2 ou MDP-4. Des circuits à verrouillage de phase sont également utilisés durant les séquences de recherche, d'acquisition et de poursuite; ils équipent à la fois les récepteurs au sol et les récepteurs embarqués.

3 Critères de protection

Dans une liaison de radiocommunication, la valeur admissible du rapport brouillage/bruit du système peut être déterminée d'après la partie de la marge nominale attribuée à la conception au brouillage externe. Pour les liaisons espace-espace et espace-Terre, on essaie le plus possible de minimiser ces marges afin de réduire le poids et la puissance, de respecter les limites d'émission et en raison de l'aspect économique. A la conception, les marges typiques, destinées à compenser les influences de conditions non idéales, sont généralement de l'ordre de 3 à 6 dB dans le cas d'engins

spatiaux fonctionnant avec des fréquences inférieures à environ 10 GHz. Pour les fréquences supérieures à 10 GHz, des marges plus élevées peuvent être nécessaires pour compenser les effets des conditions météorologiques.

Compte tenu de ces faibles valeurs de marges de liaison, les brouillages peuvent être préjudiciables pour des systèmes typiques de recherche spatiale si le seuil des caractéristiques de fonctionnement de la liaison est abaissé de plus de 1 dB. Cela correspond à une valeur requise de l'ordre de 6 dB pour le rapport densité spectrale de bruit du système/densité spectrale du brouillage (N/I).

3.1 Largeur de bande de référence

La largeur de bande de référence dans laquelle il faut déterminer un niveau de protection dépend de la plus petite largeur de bande susceptible d'être utilisée. Pour les récepteurs de stations terriennes, des circuits à verrouillage de phase peuvent utiliser des largeurs de bande de quelques hertz pour les bandes de fréquences inférieures à 20 GHz. Pour les bandes de fréquences supérieures à 20 GHz, la transmission à débit binaire élevé basée sur la modulation MDP-4 est envisagée avec des largeurs de bande de l'ordre de 1 MHz. La largeur de bande de détection d'une station spatiale est généralement plus grande (1 kHz ou plus) en raison de la nécessité de procéder à l'acquisition rapide et automatique des signaux en provenance de la Terre.

Les valeurs recommandées pour les largeurs de bande de référence sont donc les suivantes:

- récepteurs de stations terriennes: 1 Hz pour les bandes de fréquences inférieures à 20 GHz
1 MHz pour les bandes de fréquences supérieures à 20 GHz
- récepteurs de stations spatiales: 1 kHz.

3.2 Pourcentage de temps de référence

S'agissant du brouillage qui agit sur les stations terriennes de recherche spatiale, il faut noter que des brouillages sporadiques peuvent provenir de sources artificielles en raison de la propagation transhorizon, des conditions météorologiques changeantes et de la variation du gain sur la liaison entre la station brouilleuse et la station réceptrice, par suite des mouvements relatifs des antennes, etc. Par conséquent, tout critère de brouillage devra être établi de manière suffisamment stricte pour minimiser la probabilité de ce type de brouillage.

En outre, comme les données relatives à la propagation sont généralement présentées sous la forme d'un pourcentage de temps pendant lequel certaines conditions sont dépassées, il est nécessaire d'établir une relation entre la durée des interruptions et les données de propagation. Dans le cas des missions spatiales faisant appel à des engins habités, une perte de radiocommunication de plus de 5 min pendant des périodes délicates risquerait d'affecter sérieusement le bon déroulement de la mission. Cependant, les conditions de propagation sont telles que la moindre perte de transmission entre deux stations persistera pendant des périodes beaucoup plus longues que 5 min. Par conséquent, pour pouvoir fournir une protection qui empêchera un brouillage de durer plus de 5 min par jour, il est nécessaire non seulement de considérer l'heure la plus défavorable de l'année, mais aussi les 5 min les plus défavorables dans cette heure. Cela correspond approximativement à 0,001% du temps. Pour ce qui est des missions avec engins non habités, où aucune vie humaine ne risque d'être mise en péril, le pourcentage de temps de référence est de 0,1%.

3.3 Niveaux de protection requis

3.3.1 Récepteurs de stations terriennes

Entre 1 et 30 GHz, la température totale de bruit des stations terriennes de réception est généralement de l'ordre de 70 K ou davantage, selon la contribution de l'antenne. Cette contribution est fonction de la fréquence, de l'angle de site de l'antenne, des conditions météorologiques existantes, du rayonnement du sol et du rayonnement thermique dans les lobes latéraux et les lobes arrière des antennes. Au-dessous d'environ 1 GHz, le bruit cosmique augmente la température de bruit de fonctionnement du système à raison d'environ 20 dB par décade de fréquence décroissante. De ce fait, si l'on se base sur le rapport bruit/brouillage requis de 6 dB établi au § 3 et sur une température de bruit de 70 K à la réception, le critère qui convient le mieux pour la protection des stations terriennes est le suivant:

Dans la gamme de fréquences 1-20 GHz, un brouillage préjudiciable peut se produire si la durée totale pendant laquelle la densité de puissance du brouillage à caractéristique de bruit ou la puissance totale du brouillage de type onde entretenue dans toute bande prise isolément ou dans toutes les séries de bandes d'une largeur de 1 Hz, est supérieure à -216 dB(W/Hz) aux bornes d'entrée des récepteurs pour une durée dépassant 0,001% du temps pour les missions avec engins habités, et 0,1% du temps pour toutes les autres missions de recherche spatiale au voisinage de la Terre. Dans la gamme de fréquences 20-30 GHz, le critère indiqué ci-dessus doit être converti dans une largeur de bande de référence de 1 MHz, ce qui donne -156 dB(W/MHz). Pour les fréquences au-dessous d'environ 1 GHz, le niveau de brouillage admissible peut être augmenté à raison de 20 dB par décade de fréquence décroissante. Ce critère de brouillage s'applique aux trois fonctions de radiocommunication sur la liaison descendante décrites dans le § 2.

3.3.2 Récepteurs de stations spatiales

Les températures de bruit totales des récepteurs typiques des stations spatiales sont généralement de 600 K ou plus. Ces niveaux sont fixés partiellement par le fait qu'il est nécessaire que l'antenne de l'engin soit pointée en direction de la Terre (290 K). De la même façon, si l'on se base sur le rapport bruit/brouillage requis de 6 dB, le critère le plus approprié pour la protection des stations spatiales est le suivant.

Dans la gamme de fréquences 100 MHz-30 GHz, un brouillage préjudiciable peut se produire si la densité de puissance du brouillage à caractère de bruit ou la puissance totale du brouillage de type à onde entretenue dans toute bande prise isolément ou dans toutes les séries de bandes de 1 kHz de largeur, est supérieure à -177 dB(W/kHz) aux bornes d'entrée du récepteur.

En raison du déplacement des engins spatiaux en orbite basse sur lesquels on peut observer ce niveau de brouillage, la durée de l'exposition au brouillage est limitée à 0,1% du temps pour les missions d'engins pilotés et non pilotés.
