

RECOMMANDATION UIT-R SA.1155^{*,**}**Critères de protection relatifs à l'exploitation
des systèmes à satellites relais de données**

(1995)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que des systèmes à satellites relais de données sont en exploitation ou en prévision et en conformité avec le système fictif de référence décrit dans la Recommandation UIT-R SA.1018;
- b) que ces systèmes à satellites relais de données acceptent des liaisons ayant des caractéristiques très différentes, comme décrit dans l'Annexe 1;
- c) que les bandes de fréquences préférées pour les systèmes à satellites relais de données ont été identifiées dans la Recommandation UIT-R SA.1019;
- d) que le partage entre les systèmes à satellites relais de données et d'autres systèmes radioélectriques spatiaux et terriens est nécessaire dans toutes les bandes de fréquences préférées, identifiées dans la Recommandation UIT-R SA.1019;
- e) que les systèmes radioélectriques spatiaux et terriens partageant ces bandes avec les systèmes à satellites relais de données vont être plus nombreux, ce qui augmentera les probabilités de brouillage;
- f) que les marges des liaisons aller et retour avec les satellites relais de données sont normalement de 2 à 4 dB;
- g) que les systèmes à satellites relais de données émettront et recevront des signaux dans les services d'exploitation spatiale, de recherche spatiale, d'exploration de la Terre par satellite et dans le service fixe par satellite;
- h) que l'Annexe 1 contient des renseignements techniques détaillés sur les critères de protection,

recommande

1 que les critères de protection pour les diverses liaisons des systèmes à satellites relais de données, spécifiés sous forme de niveaux maximaux de densité spectrale de puissance du brouillage cumulatif qui ne doit pas être dépassé, pour toutes les sources, pendant plus de 0,1% du temps basé sur la période orbitale des satellites (voir le § 3.2 de l'Annexe 1) soient conformes aux valeurs du Tableau 1;

2 que les niveaux maximaux de brouillage cumulatif, mentionnés au § 1 ci-dessus, soient utilisés pour élaborer, dans le cadre d'études, des critères de partage avec d'autres systèmes spatiaux et terriens. Ces critères, qui serviront à faciliter les opérations de partage, pourront être différents de ceux mentionnés au § 1 ci-dessus.

* La Commission d'études 7 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2003 conformément à la Résolution UIT-R 44.

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

TABLEAU 1

Critères de protection

Liaison de satellite relais de données	Emplacement du récepteur	Densité spectrale de puissance (dB(W/kHz))
Liaison interorbitale aller 2 025-2 110 MHz 13,5-13,8 GHz 22,55-23,55 GHz	Engin spatial utilisateur	-181 -178 -178
Liaison interorbitale retour 2 200-2 290 MHz 14,89-15,18 GHz 25,25-27,5 GHz	Satellite relais de données	-181 -178 -178
Liaison de connexion aller 14,5-15,35 GHz 27,5-30,0 GHz	Satellite relais de données	-167 -169
Liaison de connexion retour 13,4-14,05 GHz 10,81-10,86 GHz 17,7-21,2 GHz	Station terrienne	-176 -176 -172

Annexe 1**Analyse de la sensibilité aux brouillages des liaisons de satellites relais de données****1 Introduction**

Une grande partie du spectre approprié à la recherche spatiale est également attribuée à un ou à plusieurs autres services: un partage de fréquences entre services est donc nécessaire. La présente Annexe examine les facteurs qui ont une incidence sur la sensibilité des liaisons avec des stations spatiales géostationnaires exploitées comme satellites relais de données, aux brouillages dus à des engins spatiaux sur orbite basse dans les services de recherche spatiale, d'exploitation spatiale et d'exploration de la Terre par satellite et dus à des stations terriennes fonctionnant dans ces mêmes services ou dans le service fixe par satellite. Cette Annexe spécifie les critères de protection appropriés à ces services dans les bandes de fréquences 2-30 GHz. Ces critères serviront aux analyses de coordination et de brouillage en l'absence de données propres aux systèmes.

2 Considérations générales

Les systèmes de recherche spatiale, d'exploitation spatiale et d'exploration de la Terre dans l'espace circumterrestre dépendent depuis toujours de communications périodiques, exemptes de brouillages et bilatérales entre les engins spatiaux et les centres de contrôle ou autres installations terriennes. L'évolution et l'expansion de ces activités sont devenues dépendantes des satellites relais de données décrits dans le Rapport UIT-R SA.848.

Ces opérations nécessitent des liaisons espace-espace, qui sont plus difficiles à concevoir et à mettre en œuvre que les liaisons espace-Terre décrites dans le Rapport UIT-R SA.985. En effet, aussi bien le système émetteur que le système récepteur sont soumis aux limites des systèmes embarqués à bord d'engins spatiaux, (en termes de masse et de puissance) ainsi que, dans la plupart des cas, aux contraintes du contrôle à distance et de non-maintenabilité.

Pour les systèmes de ce type, la tendance est d'utiliser des schémas de modulation utilisant au mieux la largeur de bande, comme la MDP-2 (inversion de phase) et la MDP-4 (quadrature de phase), complétés de procédés de correction d'erreur directe par codage de type convolutionnel ou par bloc, aussi bien pour augmenter la qualité que pour diminuer la puissance nécessaire du signal. Certains systèmes font appel aux techniques de modulation à spectre étalé afin de réduire la densité de puissance du signal. On utilise aussi, pour mesurer les distances et localiser les engins spatiaux, des techniques (semblables ou identiques aux techniques de modulation à spectre étalé) de modulation en séquences pseudo-aléatoires. Des circuits d'asservissement par verrouillage de phase sont également utilisés pendant les séquences de recherche, d'acquisition et de poursuite.

3 Critères de protection

Dans les liaisons espace-Terre et Terre-espace, il y a avantage à minimiser les marges de liaison afin d'économiser la masse et la puissance, de réduire les brouillages et d'améliorer la rentabilité. Dans les liaisons espace-espace, cette incitation est accrue car chaque extrémité de la liaison est embarquée dans l'espace. Une fois que l'on a tenu compte des éventuelles marges nécessaires pour compenser l'effet des intempéries sur la liaison de connexion, on obtient généralement des valeurs caractéristiques proches de 2 à 3 dB pour les marges nominales globales. Ces valeurs tiennent compte, dans le cas des satellites relais de données, de la liaison espace-espace qui est associée en tandem à la liaison espace-Terre ou Terre-espace (parfois désignée sous le terme «liaison de connexion»). La marge nominale de la liaison espace-espace peut ne pas dépasser 1 dB en raison des contraintes extrêmes du lancement dans l'espace des systèmes d'émission comme de réception, alors qu'on peut toujours augmenter le diamètre d'une antenne de station réceptrice au sol.

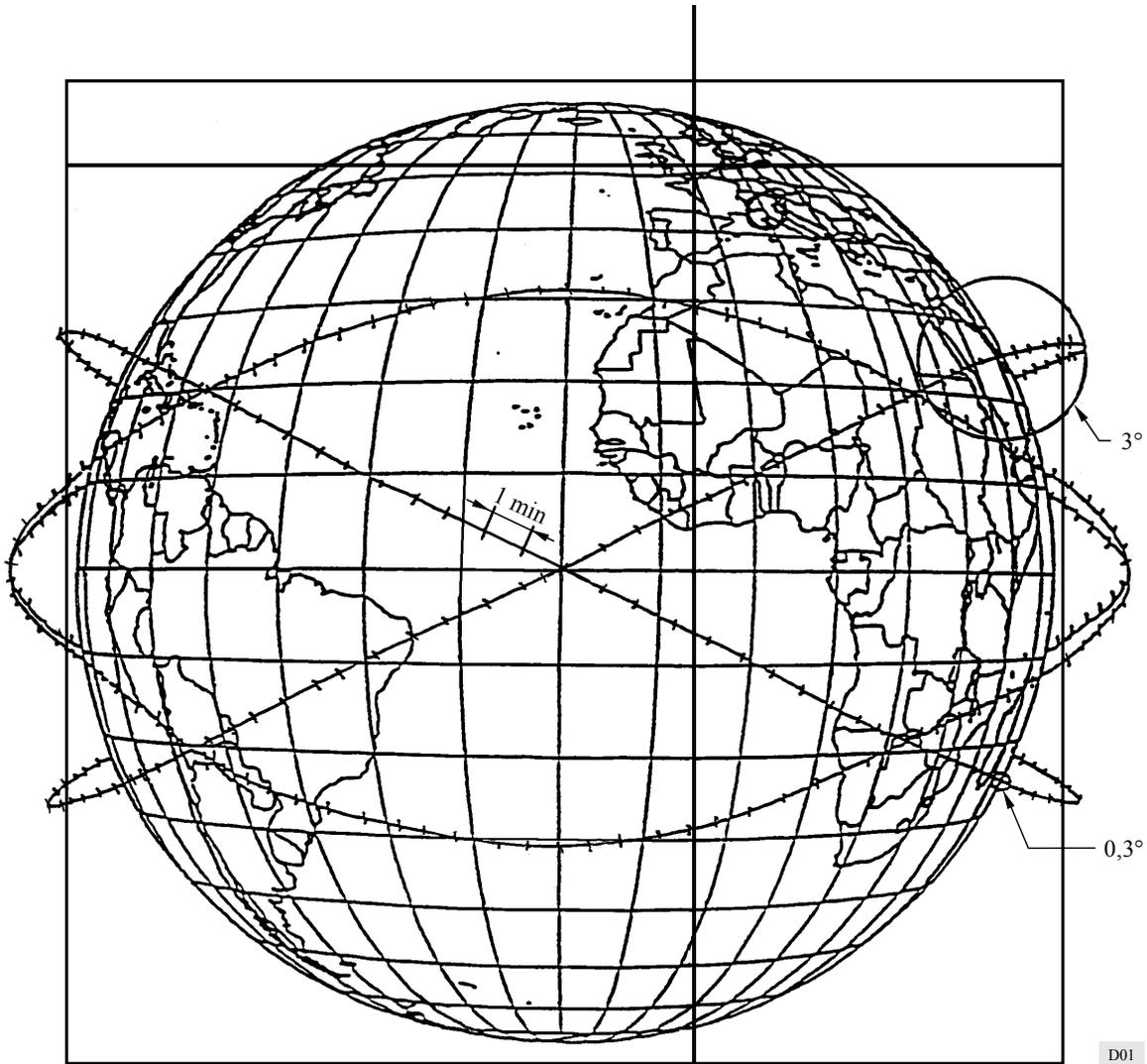
Compte tenu de ces faibles marges nominales, des niveaux de brouillage provoquant une réduction aussi faible que 0,2 dB de la marge de liaison pourraient être préjudiciables pour les liaisons espace-espace.

Dans la plupart des cas cependant, surtout aux fréquences très élevées, ces liaisons ne seront pas affectées en permanence par un brouillage issu d'une seule source au sol car le mouvement de l'engin spatial sur orbite basse modifiera constamment la géométrie de liaison. La durée du brouillage dépendra de l'ouverture du faisceau de l'antenne de réception équipant le satellite relais. Les ouvertures normales sont de 3° à 2 GHz et de 0,3° à 26 GHz. Les durées correspondantes du brouillage pour une source de signal sur orbite basse type sont de 17 min pour une ouverture de 3° et de 1 min pour une ouverture de 0,3°, comme le montre la Fig. 1.

Par ailleurs, les configurations de brouillage qui se reforment à chaque apparition d'une géométrie de liaison spécifique provoquent des problèmes systématiques lors d'observations en temps réel de la surface de la Terre à partir d'un engin spatial sur orbite basse.

FIGURE 1

Orbite type d'un satellite sur orbite basse, vue à partir
de l'orbite des satellites géostationnaires



Les niveaux de brouillage préjudiciable pour les liaisons Terre-espace dépendront de la répartition des marges entre les liaisons Terre-espace et espace-espace en tandem. La géométrie des liaisons Terre-espace en direction des satellites relais de données ne varie pas dans le temps.

Dans les analyses qui suivent, on est parti de l'hypothèse d'une réduction de 0,4 dB de la marge de liaison due à un brouillage par source unique. C'est la valeur qui a été utilisée dans d'autres cas analogues (voir les Rapports UIT-R S.560, UIT-R S.872, UIT-R S.561 et UIT-R S.712). Cela correspond à une valeur d'au moins 10 dB du rapport N/I nécessaire entre la puissance de bruit du système et la puissance de brouillage dans la largeur de bande de référence.

3.1 Largeur de bande de référence

Les systèmes utilisent des schémas de modulation directe, de sorte que la largeur de bande de référence dans laquelle il faut spécifier un rapport de protection dépend du plus faible débit de données et de la plus petite largeur de bande du récepteur susceptible d'être employé. Pour les liaisons espace-espace exploitées à des fréquences de la bande 10, le débit minimal de données est susceptible d'être proche de 1 kbit/s tandis que dans la bande 9 le débit sera d'environ 100 bit/s. Par

souci de simplicité, les critères de protection ont été calculés par rapport à une largeur de bande de 1 kHz bien que, dans certains cas, une largeur de référence plus étroite soit plus appropriée.

3.2 Pourcentage du temps de référence

Dans les missions habitées, lors de phases critiques comme un rendez-vous et un accostage ou des activités à l'extérieur de l'engin spatial, une perte de communications pendant plus de 5 min peut avoir de graves conséquences pour la mission.

Dans les missions habitées et non habitées, la référence est de 0,1% du temps. Le pourcentage de temps est calculé en fonction de la période de révolution des satellites.

Pour des missions consacrées à l'observation de la Terre pour des objectifs d'ordre météorologique, écologique, topographique et autres, des brouillages périodiques issus d'emplacements au sol, pendant des périodes aussi brèves que 1 min, peuvent empêcher d'effectuer des observations en temps réel de zones spécifiques de la surface de la Terre (généralement, à cause de la géométrie du brouillage, ce sont des zones de plusieurs centaines de kilomètres de rayon autour de la source de brouillage). Avec une ouverture de faisceau de $0,3^\circ$ du satellite relais de données, une durée de référence de 0,1% du temps est satisfaisante. Mais avec une ouverture de 3° , il convient de réduire cette durée à 0,003% du temps à cause de l'allongement du temps pendant lequel le brouillage sera préjudiciable.

De même, pour des missions consacrées à des opérations en temps réel, comme la manipulation par des robots d'instruments, de machines ou de substances chimiques (opérations parfois dénommées «téléscience»), toute interruption des communications peut avoir des conséquences onéreuses. Bien que de telles opérations puissent sans doute être programmées de façon à éviter les sources de brouillage connues, il convient de retenir dans ce cas, également, une référence de 0,003% du temps.

3.3 Niveaux de protection requis

Les communications par l'intermédiaire d'un satellite relais de données mettent en œuvre deux liaisons en série, soit dans le sens «aller» (liaison «de connexion» Terre-espace en tandem avec une liaison «interorbitale» espace-espace) ou dans le sens «retour» (liaison «interorbitale» espace-espace en tandem avec une liaison «de connexion» espace-Terre).

La détermination des niveaux de protection nécessite la prise en compte de la liaison de connexion comme de la liaison interorbitale.

3.3.1 Récepteurs de station spatiale

La température de bruit totale d'un récepteur type de station spatiale est généralement de 600 K vers 2 GHz et atteint 1 200 K vers 20 GHz, lorsque l'antenne de l'engin spatial est pointée sur la Terre (290 K). En admettant une valeur de 10 dB pour le rapport N/I nécessaire, un brouillage préjudiciable peut se produire si la densité de puissance du brouillage à caractère de bruit ou si la puissance totale du brouillage à caractère d'onde entretenue, dans une bande isolée quelconque ou dans tous les ensembles de bandes de 1 kHz de large, est supérieure à -181 dB(W/kHz) vers 2 GHz et à -178 dB(W/kHz) vers 20 GHz, aux bornes d'entrée du récepteur.

La contribution de bruit apportée par la liaison de connexion dans le sens aller est faible en raison du gain de transmission négatif des satellites relais de données. On n'en a donc pas tenu compte.

3.3.2 Récepteurs de station terrienne

Dans les bandes de fréquences comprises entre 10 et 20 GHz, la température de bruit type d'une station terrienne de réception est d'environ 300 K, produisant une densité de puissance de bruit, N_{eu} , de $-203,8$ dB(W/Hz), comme cela est indiqué dans le Tableau 2.

TABLEAU 2

Brouillages reçus par un satellite relais de données

Paramètres	De la station terrienne au satellite relais de données		De l'engin spatial utilisateur au satellite relais de données		
Bande de fréquences du récepteur de satellite relais de données (GHz)	30	15	26	15	2
Largeur de bande de référence (kHz)	1	1	1	1	1
Densité de puissance de bruit du satellite relais de données, N_r (dB(W/Hz))	-196,0	-196,8	-197,8	-198,6	-200,8
Gain de transmission, y (dB)	-8,5	-11,0	6,4	2,5	20,7
Densité de puissance de bruit pour l'utilisateur final, N_{eu} (dB(W/Hz))	-197,8	-198,6	-203,8	-203,8	-203,8
Densité de puissance de bruit équivalent, N_e (dB(W/Hz))	-197,0	-198,1	-191,8	-195,5	-180,1
Densité de puissance du brouillage pour l'utilisateur final (dB(W/Hz))	-207,0	-208,1	-201,8	-205,5	-190,1
Densité de puissance du brouillage pour le satellite relais de données (dB(W/Hz))	-198,5	-197,1	-207,6	-207,9	-210,8
Aire équivalente de l'antenne de réception (dBm ²)	-10,0	1,0	6,2	8,3	8,5
Puissance surfacique du brouillage sur l'orbite géostationnaire (dB(W/Hz.m ²))	-188,5	-198,1	-213,8	-216,2	-219,3

La densité de puissance totale de bruit équivalent, N_e , reçue d'un satellite relais de données non équipé de circuits de traitement du signal à bord ou de répéteurs à remodulation, comprend la densité de puissance de bruit du satellite relais de données, N_r , amplifiée par le gain de transmission, y :

$$N_e = y N_r + N_{eu}$$

Au moyen des paramètres d'un système à satellites relais de données normal et en supposant l'absence de réception de signaux brouilleurs simultanés par ce satellite, on a déterminé (voir le Tableau 1) les seuils de brouillage dans la station terrienne de l'utilisateur final pour des paramètres représentatifs du réseau de satellites relais de données, sur la base du rapport N/I de 10 dB nécessaire.

3.3.3 Satellites relais de données

De même, la densité de puissance totale du bruit équivalent, N_{er} , rapportée à l'entrée du satellite relais de données, est égale à:

$$N_{er} = N_r + N_{eu}/y$$

où N_{eu}/y est la densité de puissance de bruit pour l'utilisateur final, divisée par le gain de transmission.

Donc, en supposant l'absence de réception de signaux brouilleurs simultanés par l'utilisateur final, ce dernier étant soit la station terrienne (pour une liaison de retour) ou l'engin spatial utilisateur (pour une liaison aller), les seuils de brouillage dans le satellite relais de données ont été déterminés (voir le Tableau 2) pour des paramètres représentatifs du réseau de satellites relais de données sur la base du rapport N/I de 10 dB nécessaire.