

Union internationale des télécommunications

**UIT-R**

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R SA.1155-2**  
(07/2017)

**Critères de protection relatifs à  
l'exploitation des systèmes à satellites  
relais de données**

**Série SA**  
**Applications spatiales et météorologie**



Union  
internationale des  
télécommunications

## 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
<b>BO</b>	Diffusion par satellite
<b>BR</b>	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
<b>BS</b>	Service de radiodiffusion sonore
<b>BT</b>	Service de radiodiffusion télévisuelle
<b>F</b>	Service fixe
<b>M</b>	Services mobile, de radiopérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
<b>P</b>	Propagation des ondes radioélectriques
<b>RA</b>	Radio astronomie
<b>RS</b>	Systèmes de télédétection
<b>S</b>	Service fixe par satellite
<b>SA</b>	<b>Applications spatiales et météorologie</b>
<b>SF</b>	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
<b>SM</b>	Gestion du spectre
<b>SNG</b>	Reportage d'actualités par satellite
<b>TF</b>	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
<b>V</b>	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, 2018

© UIT 2018

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.1155-2\*

**Critères de protection relatifs à l'exploitation  
des systèmes à satellites relais de données**

(1995-2013-2017)

**Domaine d'application**

La présente Recommandation spécifie les critères de protection pour les systèmes à satellites relais de données, sous la forme de valeurs du rapport  $I_0/N_0$ , et fournit des analyses et des textes explicatifs concernant lesdits critères de protection.

**Mots clés**

Satellite relais de données (DRS), espace vers Terre, Terre vers espace, espace-espace, liaison de connexion aller, liaison de connexion retour

**Recommandations UIT-R connexes**

Recommandations UIT-R SA.510, UIT-R SA.1018, UIT-R SA.1019, UIT-R SA.1274, UIT-R SA.1275, UIT-R SA.1276, UIT-R SA.1414

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que des systèmes à satellites relais de données sont en exploitation ou en projet, conformément au 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 la Recommandation UIT-R SA.1414;
- 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 de Terre est nécessaire dans toutes les bandes de fréquences préférées, identifiées dans la Recommandation UIT-R SA.1019;
- e) que les systèmes radioélectriques spatiaux et de Terre 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, mais que, dans certains cas, elles peuvent être de l'ordre de 1 dB;
- g) que la marge nominale de la liaison espace-espace est souvent le facteur limitant;
- h) 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, fixe par satellite et inter-satellites;
- i) que l'Annexe contient des renseignements techniques détaillés sur les critères de protection,

---

\* La présente Recommandation devrait être portée à l'attention des Commissions d'études 4 et 5 des radiocommunications.

*recommande*

1 que les critères de protection indiqués dans le Tableau 1, spécifiés sous forme de rapport entre la valeur maximale de la densité spectrale de puissance du brouillage cumulatif et la densité de puissance de bruit du système, ne soient pas dépassés, pour toutes les sources, pendant plus de 0,1% du temps, pour les diverses liaisons des systèmes à satellites relais de données;

2 que les critères de protection indiqués dans le Tableau 1 soient utilisés pour élaborer, dans le cadre d'études, des critères de partage avec d'autres systèmes de Terre et spatiaux.

TABLEAU 1

**Critères de protection**

<b>Liaison de satellite relais de données</b>	<b>Emplacement du récepteur</b>	<b><math>I_0/N_0</math> (dB)</b>
Liaison interorbitale aller	Engin spatial utilisateur	
2 025-2 110 MHz 13,4-14,3 GHz 22,55-23,55 GHz		-10
Liaison interorbitale retour	Satellite relais de données	
2 200-2 290 MHz 14,5-15,35 GHz 25,25-27,5 GHz		-10
Liaison de connexion aller	Satellite relais de données	
14,5-15,35 GHz 27,5-31,0 GHz		-6
Liaison de connexion retour	Station terrienne	
13,4-14,05 GHz 10,7-10,95 GHz 17,7-21,2 GHz 25,5-27 GHz (voir la Note)		-6

Note – Dans la bande de fréquences 25,5-27 GHz, la liaison de connexion retour achemine des signaux des services de recherche spatiale et d'exploration de la Terre par satellite.

## **Annexe**

### **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 la Recommandation UIT-R SA.1414.

Ces opérations nécessitent des liaisons espace-espace, qui sont plus difficiles à concevoir et à mettre en œuvre que les liaisons espace vers Terre. 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 vers Terre et Terre vers 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, les valeurs caractéristiques des marges nominales globales sont généralement proches de 2 à 4 dB, mais dans certains cas, elles peuvent être de l'ordre de 1 dB. 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 vers Terre ou Terre vers espace (parfois désignée sous le terme «liaison de connexion»). La marge nominale de la liaison espace-espace est souvent le facteur limitant, 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 de seulement 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.

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.

Les niveaux de brouillage préjudiciable pour les liaisons Terre vers espace dépendront de la répartition des marges entre les liaisons Terre vers espace et espace-espace en tandem. La géométrie des liaisons Terre vers 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, valeur qui a été utilisée dans d'autres cas analogues. Cela correspond à une valeur d'au plus  $-10$  dB du rapport  $I/N$  nécessaire entre la puissance de brouillage et la puissance de bruit du système 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 des 2 GHz, le débit minimal de données est susceptible d'être proche de 1 kbit/s tandis que dans les bandes de fréquences supérieures, le débit sera d'au moins 1 Mbit/s. Ainsi, la valeur recommandée pour la largeur de bande de référence est de 1 kHz dans la bande des 2 GHz et de 1 MHz dans les bandes supérieures.

### 3.2 Pourcentage de 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. Pour la liaison espace-espace, le pourcentage de temps devrait se rapporter à la période pendant laquelle le satellite utilisateur est visible depuis le satellite relais de données (DRS) correspondant, car c'est la période pendant laquelle les communications ont lieu, et la réception de brouillages en dehors de cette période n'a pas d'importance.

### 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 vers 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 vers 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 Liaisons espace-espace

La température de bruit totale d'un récepteur type de station spatiale est généralement de 600 K à 2 GHz et atteint 1 200 K à 20 GHz, lorsque l'antenne de l'engin spatial est pointée en direction de la Terre (290 K). Il convient d'utiliser ces valeurs lorsqu'on ne dispose pas des valeurs réelles pour déterminer si le rapport  $I/N$  nécessaire de  $-10$  dB est respecté.

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 Liaisons satellite DRS vers Terre et Terre vers satellite DRS

Le Tableau 2 donne quelques exemples de l'interaction entre les deux parties de la liaison globale de bout en bout, à la fois pour les liaisons retour et pour les liaisons aller, et pour différentes bandes de fréquences. Les marges de liaison sont des valeurs caractéristiques des liaisons de systèmes représentatifs. Etant donné que les liaisons sont généralement de type «bent-pipe» – il n'y a pas de traitement à bord du satellite DRS – le bruit est additif, de sorte que la marge de liaison globale est déterminée par la combinaison en cascade des différentes marges de liaison. Dans certains cas, les deux liaisons ont des marges analogues (p.ex. retour 15 GHz/13 GHz), de sorte que les deux liaisons présentent une sensibilité équivalente au bruit. Dans d'autres cas, la liaison espace-espace a une marge nettement plus faible que la liaison de connexion (p.ex. retour 2 GHz /13 GHz, aller 15 GHz/13 GHz), de sorte que la première est nettement plus sensible au bruit. Cela signifie qu'on peut tolérer davantage de brouillages sur les liaisons de connexion, et le critère  $I/N$  est donc assoupli à  $-6$  dB pour ces liaisons.

TABLEAU 2

#### Brouillages reçus par un satellite relais de données

Liaison retour	Bande →	2/13		15/13	
		Marge au niveau du satellite DRS (dB)	4,01	4,01	3,31
Liaison utilisateur vers satellite DRS	Dégradation (dB)	0,40	0,00	0,40	0,00
	Marge au niveau du satellite DRS – dégradation (dB)	3,61	4,01	2,91	3,31
	Marge au niveau de la Terre (dB)	50,30	50,30	4,45	4,45
Liaison satellite DRS vers Terre	Dégradation (dB)	0,00	1,00	0,00	1,00
	Marge au niveau de la Terre – dégradation (dB)	50,30	49,30	4,45	3,45
	Marge totale (dB)	4,01	4,01	0,83	0,83
Liaison de bout en bout	Dégradation (dB)	0,40	0,00	0,23	0,46
	Marge totale – dégradation (dB)	3,61	4,01	0,60	0,37
	Marge au niveau de la Terre (dB)	50,30	50,30	4,45	4,45
Liaison aller	Bande →	15/2		15/13	
		Marge au niveau du satellite DRS (dB)	35,04	35,04	23,63
Liaison Terre vers satellite DRS	Dégradation (dB)	0,00	1,00	0,00	1,00
	Marge au niveau du satellite DRS – dégradation (dB)	35,04	34,04	23,63	22,63
	Marge au niveau de l'utilisateur (dB)	3,90	3,90	3,50	3,50
Liaison satellite DRS vers utilisateur	Dégradation (dB)	0,40	0,00	0,40	0,00
	Marge au niveau de l'utilisateur – dégradation (dB)	3,50	3,90	3,10	3,50
	Marge totale (dB)	3,90	3,90	3,46	3,46
Liaison de bout en bout	Dégradation (dB)	0,40	0,00	0,40	0,01
	Marge totale – dégradation (dB)	3,50	3,90	3,06	3,45