

RECOMMANDATION UIT-R RA.611-4*, **

**Protection du service de radioastronomie contre
les rayonnements non essentiels**

(Question UIT-R 145/7)

(1986-1990-1992-2003-2006)

Domaine de compétence

La présente Recommandation donne des indications aux administrations et/ou aux opérateurs afin de protéger le service de radioastronomie (SRA) contre les brouillages dus aux rayonnements non essentiels susceptibles d'être causés par les services actifs ayant des attributions dans des bandes adjacentes aux bandes attribuées aux SRA ou dans des bandes proches de celles-ci.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la radioastronomie continue d'être au premier plan du développement des connaissances scientifiques;
- b) que le service de radioastronomie (SRA) a besoin de bandes de fréquences exemptes de brouillages pour permettre les observations d'astronomie;
- c) que l'utilisation croissante du spectre des fréquences radioélectriques, en particulier dans l'espace, augmente les possibilités que des brouillages préjudiciables soient causés au SRA par des rayonnements non essentiels (voir l'Annexe 1 de la présente Recommandation);
- d) que l'emploi de certaines techniques de modulation avec un filtrage insuffisant des produits parasites peut affecter les bandes de radioastronomie très éloignées de la bande de l'émission utile;
- e) que l'Appendice 3 du Règlement des radiocommunications (RR) spécifie les niveaux maximaux admissibles des rayonnements non essentiels et incite à étudier la possibilité d'imposer des limites plus rigoureuses au niveau des rayonnements non essentiels pour protéger dûment les stations du SRA;
- f) que dans le cas des systèmes radioélectriques utilisant des techniques de modulation numériques les niveaux des rayonnements non essentiels spécifiés dans l'Appendice 3 du RR ne s'appliquent pas mais sont communiqués à titre indicatif. On notera que la protection du SRA contre les émissions non désirées résultant des applications à modulation numérique et à large bande est examinée dans la Recommandation UIT-R RA.1237;

* NOTE – Les niveaux de brouillages préjudiciables causés au SRA, dont il est question dans l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R RA.769, ne sont pas acceptés par les Administrations arabes car considérés irréalistes, comme confirmé par les Conférences des radiocommunications précédentes de 1995, 1997 et 2000 traitant de la Recommandation 66 du RR.

** La Commission d'études 7 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à la présente Recommandation en 2017 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 1.

- g) que les observations de radioastronomie sont conduites dans les bandes de fréquences jusqu'à 1 000 GHz;
- h) que les seuils de brouillages préjudiciables causés au SRA sont spécifiés dans l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R RA.769;
- j) que la Recommandation UIT-R RA.1513 spécifie les niveaux acceptables de perte de données pour les observations de radioastronomie et les critères de pourcentage de temps découlant des dégradations générées par les brouillages, dans le cas des bandes de fréquences attribuées à titre primaire au SRA;
- k) que les critères techniques spécifiés pour le cas des brouillages préjudiciables causés au service de radioastronomie par les rayonnements non essentiels provenant d'émetteurs de stations spatiales OSG doivent, pour le SRA, être ceux qui figurent dans l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R RA.769 et qui permettent des observations de radioastronomie dans des directions s'écartant de 5° ou plus de l'OSG;
- l) que des progrès ont été faits pour répondre aux besoins du SRA sans que cela ait des effets défavorables pour d'autres services;
- m) que la conception des antennes et des techniques de filtrage des rayonnements non essentiels ne cessent de s'améliorer,

recommande

- 1 que les observatoires de radioastronomie continuent d'être installés à des emplacements bénéficiant d'une bonne protection naturelle contre les brouillages susceptibles d'être préjudiciables au SRA;
- 2 que tous les efforts possibles devraient être déployés afin de réduire les gains dans les lobes latéraux des antennes de radioastronomie;
- 3 que les administrations qui mettent en service des stations tiennent compte, dans la mesure du possible, du brouillage causé aux observations radioastronomiques par les rayonnements non essentiels de stations de Terre de forte puissance ou de stations spatiales;
- 4 que, pour le cas des stations spatiales OSG, les administrations tiennent compte, dans la mesure du possible, de l'objectif du SRA de ne pas subir de brouillages préjudiciables au SRA (voir la Recommandation UIT-R RA.769) causés par des rayonnements non essentiels, s'agissant d'observations faites à 5° ou plus de l'OSG.

Annexe 1

Brouillages causés au SRA par les rayonnements non essentiels

1 Critères de protection applicables au SRA

La limite de sensibilité de la plupart des observations de radioastronomie correspond à un niveau de puissance surfacique très inférieure à celle qui est utilisée pour la réception des signaux de radiocommunication. L'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R RA.769 traite des seuils de brouillages et des critères de protection pour le partage des fréquences entre les SRA et les autres services. Les Tableaux 1, 2 et 3 donnent les valeurs de ces limites de sensibilité pour plusieurs fréquences. Toutefois, des brouillages préjudiciables au SRA peuvent aussi être causés par des émetteurs qui n'utilisent pas la même bande. Les brouillages peuvent être classés en deux catégories: les brouillages dans la bande adjacente (voir la Recommandation UIT-R RA.517) et les brouillages provenant des rayonnements non essentiels d'émetteurs fonctionnant dans d'autres bandes. Les valeurs de tous les autres paramètres étant identiques, les effets des rayonnements non essentiels dus à la modulation numérique à large bande utilisant les techniques d'étalement du spectre et produits par un émetteur seront plus marqués; cela est examiné dans la Recommandation UIT-R RA.1237.

2 Brouillage par harmoniques et par intermodulation

Le brouillage par des harmoniques et par l'intermodulation de plusieurs signaux peut être dû à des émetteurs bien séparés en fréquence de la bande de radioastronomie. De même, les brouillages imputables à des signaux à modulation numérique insuffisamment filtrés (signaux à spectre étalé par exemple) peuvent affecter les bandes de radioastronomie très éloignées de la fréquence porteuse.

Le brouillage par des harmoniques peut se produire dans une bande quelconque et prend naissance principalement dans les étages de puissance des émetteurs. Les harmoniques 2 et 3 de la fréquence porteuse peuvent se manifester à un niveau assez élevé, mais les émetteurs sont normalement pourvus de filtres (accordés ou passe-bas) qui ramènent tous les harmoniques à la sortie de l'émetteur à 60 dB au moins en dessous de la puissance en crête. L'intermodulation entre porteuses se manifeste aussi lorsqu'une partie du signal provenant d'un émetteur pénètre, à travers les filtres combineurs, dans le circuit de sortie d'un autre émetteur raccordé à une antenne commune distincte. Des filtres supplémentaires relativement simples permettraient d'affaiblir ces produits brouilleurs, à supposer que leur fréquence ne soit pas trop voisine de celle de l'émetteur.

Les niveaux dont il est question dans le paragraphe précédent s'appliquent aux brouillages générés dans les étages de puissance. De plus, des harmoniques et des produits d'intermodulation peuvent être générés en raison de la non-linéarité du système émetteur¹.

¹ Pour un complément de données techniques sur la question, on consultera le site web du GT 7D de l'UIT-R.

3 Emissions brouilleuses causées par la modulation à large bande

Dans certains types d'émissions intentionnelles, souvent associées à des données numériques, des bandes latérales spectrales sont produites dans une bande de fréquences beaucoup plus large que celle qui est utilisée pour la réception de ces signaux. En particulier, la modulation par inversion de phase MDP-2 produit un spectre de puissance de la forme $(\sin x/x)^2$, avec des maximums secondaires récurrents à l'extérieur de la largeur de bande utile, ces maxima diminuant lentement avec la fréquence. En l'absence de filtrage, les bandes latérales décalées d'environ dix fois la largeur de bande (3 dB) par rapport à la fréquence porteuse ont une densité spectrale de puissance qui est inférieure d'environ 36 dB seulement au niveau de puissance obtenu au centre de la bande. Si, de plus, la fréquence de modulation d'une telle émission MDP-2 est comprise entre 10 et 20 MHz, les dix largeurs de bande en question couvrent plusieurs centaines de MHz à partir de la fréquence assignée. Considérons, par exemple, un émetteur MDP-2 simple fonctionnant avec une fréquence de modulation de 10 MHz centrée sur 1 615 MHz, avec une puissance de 40 W et une antenne d'émission isotrope montée sur un aéronef avec une distance de visibilité directe de 400 km (distance de l'horizon pour un aéronef volant à une altitude d'environ 10 000 m). Les émissions brouilleuses d'un tel émetteur donneraient même dans la bande 1 400-1 427 MHz et au point de réception, une puissance surfacique supérieure de 40 dB aux seuils de brouillages préjudiciables au SRA indiqués dans le Tableau 1 de l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R RA.769. Il va sans dire que les émissions dans la bande 1 660-1 670 MHz, également attribuée à la radioastronomie, se situeraient à un niveau nettement supérieur. Des émetteurs de ce type montés sur des engins spatiaux pourraient être des sources de brouillage encore plus gênantes pour la radioastronomie. Il importe de prendre des précautions dans la conception de ces types d'émetteurs, pour assurer un affaiblissement suffisant des émissions brouilleuses.

La technique MDP-2 avec une fréquence de modulation de plusieurs MHz est utilisée dans certains types de modulation à étalement du spectre. Les techniques d'étalement de spectre nouvelles sont caractérisées par un signal à large bande avec une faible densité de puissance qui rappelle celle du bruit aléatoire. Cette caractéristique réduit, en général, les risques de brouillage des systèmes de communication classiques à bande étroite par ces systèmes à spectre étalé, mais non les risques de brouillage du SRA. Dans ce service, les signaux cosmiques ont la forme d'un bruit aléatoire et on utilise souvent de grandes largeurs de bande. Aux faibles signaux dont s'occupent les radioastronomes, il est généralement impossible de faire la distinction entre des signaux à spectre étalé et des signaux cosmiques. L'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R RA.769 donne les seuils de brouillages préjudiciables en puissance surfacique pour des signaux artificiels tombant dans une bande de radioastronomie; ces seuils s'appliquent à des émissions brouilleuses ainsi qu'à des émissions intentionnelles et à tous les types de modulation, y compris celui dont il a été question ci-dessus. Les technologies actuelles permettent de concevoir de nouvelles générations d'émetteurs capables de supprimer des émissions brouilleuses hors bande. Ces émetteurs pourraient parfaitement fonctionner sans rayonner dans les bandes latérales lointaines à condition qu'avec la technique MDP-2, la porteuse ne passe pas brusquement en opposition de phase (180°). Il faudrait un passage plus progressif pour obtenir un spectre de puissance de la forme $(\sin x/x)^n$ avec $n > 2$.

4 Brouillages causés par des émissions de satellites

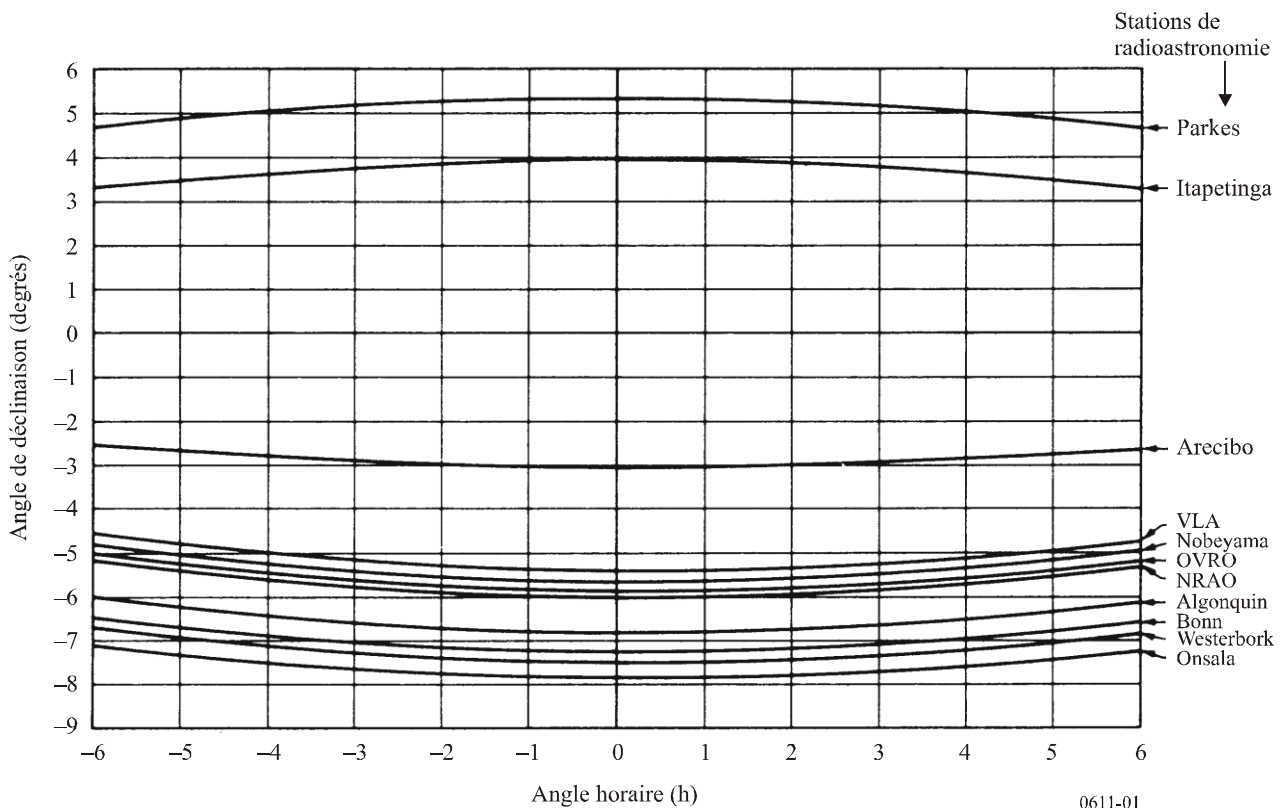
Les émissions provenant des satellites sont susceptibles de brouiller fortement les SRA. Si les sources de brouillage de Terre agissent généralement dans la région des lobes latéraux éloignés de l'antenne du radiotélescope et que leurs effets peuvent être atténués par le relief environnant, en revanche, les brouillages causés par les émissions des satellites sont souvent reçus par le faisceau principal et les lobes latéraux intérieurs, avec un gain nettement plus élevé. La nature du brouillage dépend du type d'émetteur et du service fourni par le système, que les satellites soient géostationnaires ou non

géostationnaires, et du nombre de satellites du système étudié visibles depuis l'observatoire de radioastronomie.

4.1 Satellites géostationnaires

Plusieurs satellites géostationnaires sont en général visibles depuis les radiotélescopes actuellement en service et occupent des plages plus ou moins constantes d'azimut et d'élévation. Ces satellites peuvent donc se révéler être des sources de brouillages préjudiciables pour les observations de radioastronomie. Le rayon de l'OSG est d'environ 6,6 fois celui de la Terre. A cette distance radiale, un seul satellite peut illuminer un tiers de la surface de la Terre – et donc de nombreux radiotélescopes – avec des signaux en visibilité directe. La Fig. 1 présente la position de la ceinture des satellites géostationnaires exprimée en coordonnées célestes telle qu'elle est vue depuis la latitude de quelques grands observatoires de radioastronomie. Les projets de développement de certains services actifs font appel à un grand nombre de satellites géostationnaires. Un tel ensemble de sources potentielles de brouillage pouvant être reçu par les lobes latéraux proches du diagramme d'antenne du radiotélescope risque de poser un sérieux problème de brouillage pour les radioastronomes.

FIGURE 1
Projection de l'orbite des satellites géostationnaires sur la sphère céleste



Les seuils de brouillages susceptibles d'être préjudiciables à la radioastronomie sont indiqués dans l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R RA.769. On y trouve, pour chaque bande de radioastronomie, le niveau de puissance à l'entrée du récepteur à partir duquel les brouillages deviennent préjudiciables au service. On y trouve aussi la puissance surfacique équivalente ($\text{dB}/(\text{W}/\text{m}^2)$) associée à ces brouillages, calculée en supposant que le gain du radiotélescope est de 0 dBi dans la direction de la source de brouillage. Un tel gain est utile pour examiner les sources de brouillage de Terre se trouvant dans les limites de l'horizon. Dans le cas des satellites géostationnaires, la situation est différente.

Si l'antenne de radioastronomie présente les caractéristiques des lobes latéraux spécifiées dans la Recommandation UIT-R SA.509, le gain dans les lobes latéraux tomberait à 0 dBi à 19° de l'axe du faisceau principal. Dans le cas d'une telle antenne, le niveau de brouillage préjudiciable au SRA sera dépassé si le faisceau principal est pointé à moins de 19° d'un satellite produisant dans la largeur de bande de la radioastronomie, une puissance surfacique au niveau de l'observatoire égale au seuil de brouillage gênant spécifié dans l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R RA.769. La présence d'une série de satellites espacés d'environ 30° sur l'OSG, produisant un brouillage de ce niveau, aurait pour effet de ne pas permettre des observations exemptes de brouillage gênant dans une zone de 38° environ, centrée sur l'orbite. La largeur de cette zone exposée augmenterait avec le nombre de satellites brouilleurs sur l'orbite et pourrait, en principe, s'étendre à l'ensemble du ciel vu de l'observatoire. Le nombre réel de satellites causant des brouillages dépendra de la manière dont les signaux brouilleurs sont émis (faisceaux ponctuels ou rayonnements plus diffus). Les rayonnements non essentiels qui ne sont pas éloignés de la fréquence d'émission du satellite seront généralement rayonnés par les antennes dans des directions proches de celles des signaux utiles.

4.2 Satellites non géostationnaires

Les brouillages susceptibles d'être préjudiciables au SRA produits par des satellites non géostationnaires sur orbite terrestre basse tiennent à leur grand nombre, qui permettent à plusieurs d'entre eux de se trouver en même temps dans le ciel vu d'un observatoire de radioastronomie et en visibilité directe de l'antenne du radiotélescope. Cela conduit à une situation dans laquelle l'antenne du radiotélescope peut recevoir des rayonnements non désirés de ces satellites non géostationnaires sur orbite terrestre basse par plusieurs de ses lobes latéraux proches et distants du faisceau principal et par celui-ci. Ce problème de brouillage est aggravé par les changements constants de la direction par laquelle arrivent les signaux brouilleurs et par la nécessité pour l'antenne du radiotélescope de suivre la source céleste observée. Plusieurs signaux intenses simultanés peuvent amener le point de fonctionnement du récepteur dans une région non linéaire, donnant lieu à des produits d'intermodulation.

L'effet des émissions non désirées imposées aux sites de radioastronomie par une constellation de satellites non géostationnaires (orbite basse) peut être déterminé par la méthode de la puissance surfacique équivalente présentée dans la Recommandation UIT-R S.1586 – Calcul des niveaux de rayonnements non désirés produits par un système à satellites non géostationnaires du service fixe par satellite au niveau des sites de radioastronomie, ou de la Recommandation UIT-R M.1583 – Calculs des brouillages produits par un système à satellites non géostationnaire du service mobile par satellite ou du service de radionavigation par satellite au niveau des sites de radioastronomie, et des gains d'antenne indiqués dans la Recommandation UIT-R RA.1631.

On peut utiliser ces Recommandations pour déterminer le pourcentage de perte de données pendant les observations faites depuis un site de radioastronomie résultant du brouillage causé par un système à satellites donné. Les pourcentages acceptables de perte de données sont spécifiés dans la Recommandation UIT-R RA.1513.
