

RECOMMANDATION 611-2

**PROTECTION DU SERVICE DE RADIOASTRONOMIE
CONTRE LES RAYONNEMENTS NON ESSENTIELS**

(Question 145/7)

(1986-1990-1992)

Le CCIR,

considérant

- a) que la radioastronomie continue d'être au premier plan du développement des connaissances scientifiques;
- b) que le service de radioastronomie a besoin de bandes de fréquences exemptes de brouillages préjudiciables 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 à la radioastronomie par des rayonnements non essentiels (voir l'Annexe 1 à 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 8 du Règlement des radiocommunications (RR) spécifie les niveaux maximaux admissibles des rayonnements non essentiels provenant d'émetteurs fonctionnant à des fréquences inférieures à 17,7 GHz;
- f) que les stations des services spatiaux exploitées à des fréquences supérieures à 960 MHz ne sont pas visées par les dispositions de l'Appendice 8 du RR;
- g) que les rayonnements non essentiels des systèmes radioélectriques utilisant des techniques de modulation numériques ne sont pas actuellement visés par les dispositions de l'Appendice 8 du RR;
- h) que les observations de radioastronomie sont conduites dans les bandes de fréquences jusqu'à 275 GHz et au-delà;
- j) que les critères techniques concernant les brouillages préjudiciables spécifiés dans la Recommandation N° 61 de la CAMR-79 doivent, s'agissant du service de radioastronomie, être ceux qui figurent aux Tableaux 1, 2 et 3 de l'Annexe 1 à la Recommandation 769 et qui s'appliquent aux émetteurs fonctionnant en dehors du faisceau principal de l'antenne de radioastronomie;
- k) que les critères techniques spécifiés pour le cas particulier des brouillages préjudiciables dus aux rayonnements non essentiels provenant d'émetteurs de stations spatiales géostationnaires doivent, pour le service de radioastronomie, être ceux qui figurent dans l'Annexe 1 à la Recommandation 769 et qui permettent des observations de radioastronomie dans des directions s'écartant de 5° ou plus de l'orbite des satellites géostationnaires;
- l) que des progrès ont été faits pour répondre aux besoins du service de radioastronomie 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 le service de radioastronomie continue d'installer des observatoires à des emplacements bénéficiant d'une bonne protection naturelle contre les brouillages préjudiciables;
2. que le service de radioastronomie s'efforce par tous les moyens possibles de réduire les gains dans les lobes latéraux des antennes de radioastronomie;
3. que les administrations qui mettent en service des stations dans des bandes de fréquences non couvertes par les dispositions de l'Appendice 8 du RR, tiennent compte, dans la mesure du possible, du risque particulier de 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 particulier des stations spatiales géostationnaires, les administrations tiennent compte, dans la mesure du possible, de l'objectif du service de radioastronomie de ne pas subir de brouillages préjudiciables (voir la Recommandation 769 causés par des rayonnements non essentiels, s'agissant d'observations faites à 5° ou plus du plan de l'orbite des satellites géostationnaires;

Brouillages causés au service de radioastronomie par les rayonnements non essentiels

1. Critères de protection applicables au service de radioastronomie

La limite de sensibilité de la plupart des observations de radioastronomie correspond à une densité spectrale de puissance surfacique très inférieure à celle qui est utilisée pour la réception des signaux de radiocommunication. L'Annexe 1 à la Recommandation 769 traite des critères de brouillage et de protection pour le partage des fréquences entre les services de radioastronomie et les autres services. Les Tableaux 1, 2 et 3 donnent les valeurs de ces limites de sensibilité pour plusieurs fréquences. Toutefois, compte tenu de la sensibilité des observations de radioastronomie, des brouillages peuvent être causés à ce service par des émetteurs qui n'utilisent pas la même bande. Ils peuvent être classés en deux catégories: les brouillages dans la bande adjacente (voir la Recommandation 517) et les brouillages provenant des rayonnements non essentiels d'émetteurs fonctionnant dans d'autres bandes.

Il convient aussi de noter que tous les types de mesures de radioastronomie ne sont pas aussi sensibles au brouillage que les mesures effectuées avec une seule antenne auxquelles s'appliquent les Tableaux 1 et 2 de la Recommandation 769. Pour les interféromètres et les réseaux synthétiseurs, le seuil de brouillage préjudiciable est plus élevé. Cependant, ces instruments servent principalement à l'étude des radiosources de très petites dimensions angulaires; par contre, les télescopes à une seule antenne jouent un rôle important en radioastronomie pour l'observation des radiosources étendues dans l'espace.

Un deuxième critère touchant la protection du service de radioastronomie concerne la fraction de l'ensemble du ciel dans laquelle les observations de radioastronomie doivent être protégées. Dans le cas des brouilleurs fonctionnant sur la surface de la Terre, on adopte la valeur 0 dB pour le gain de l'antenne de radioastronomie dans la direction de l'horizon. On adopte cette valeur pour faire en sorte que les signaux brouilleurs potentiels ne causent pas de brouillages préjudiciables aux observations effectuées à des angles de site supérieurs à 19° (voir la Recommandation 509). Ce même gain d'antenne de 0 dB est acceptable pour les brouillages causés par des émetteurs d'aéronefs ou de satellites sur orbite basse. En revanche, dans le cas des brouillages causés par des satellites géostationnaires, il faut utiliser une valeur de +15 dB comme gain de l'antenne de radioastronomie pour permettre les observations à 5° de l'orbite des satellites géostationnaires (voir l'Annexe 1 à la Recommandation 769).

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 l'étage de sortie 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 des systèmes d'alimentation et des antennes.

Le Tableau 1 donne la liste des services qui pourraient causer un brouillage par harmoniques dans les bandes attribuées à titre primaire au service de radioastronomie; on a pris en compte uniquement les deuxième et troisième harmoniques.

TABLEAU 1

Services qui pourraient causer un brouillage par harmoniques au service de radioastronomie *

Bande attribuée à la radioastronomie à titre primaire dans le monde entier	Service brouilleur	Harmonique de la fréquence attribuée
13,36-13,41 MHz	Mobile aéronautique	2
25,55-25,67 MHz	Maritime mobile	2, 3
322-328,6 MHz	Mobile (Régions 2 et 3) Radiodiffusion Radionavigation aéronautique	2 3 3
1 400-1 427 MHz	Radiodiffusion Mobile Météorologie par satellite (espace-Terre)	2, 3 2 (Régions 2, 3), 3 (Régions 2 (1), 3) 3 (1)
1 610,6-1 613,8 MHz	Radiodiffusion Mobile	2, 3 2 (Régions 2, 3), 3 (Régions 2 (1), 3)
1 660-1 670 MHz	Radiodiffusion Mobile (Régions 2 et 3) Radionavigation (Région 3)	2, 3 2, 3 (Région 3) 3
2 690-2 700 MHz	Radionavigation aéronautique Radiolocalisation Radiodiffusion (Régions 1 et 3) Mobile (Région 3)	2 2 (1), 3 (1) 3 3
4 990-5 000 MHz	Mobile par satellite (espace-Terre) Mobile Radiolocalisation ISM Radiorepérage par satellite (espace-Terre)	2 2 2 (Région 1 (1)) 2 2 (Régions 2, 3 (1))
10,6-10,7 GHz	Radiolocalisation Mobile (Région 1) Fixe par satellite (espace-Terre)	2, 3 3 (1) 3
15,35-15,4 GHz	Fixe par satellite (espace-Terre) Radionavigation aéronautique	2 3
22,21-22,5 GHz	Fixe par satellite (espace-Terre)	2, 3
23,6-24 GHz	Radiodiffusion (Régions 1 et 3) Radiodiffusion par satellite (Régions 1 et 3) Fixe par satellite (Région 2) Mobile	2 2 2 3

* Non compris les services fixe et mobile à l'exception du service mobile aéronautique.

(1) Attribution à titre secondaire.

TABLEAU 1 (suite)

Bande attribuée à la radioastronomie à titre primaire dans le monde entier	Service brouilleur	Harmonique de la fréquence attribuée
31,3-31,8 GHz	Radionavigation aéronautique	2
	Radiolocalisation	2, 3
	Mobile	3
	Amateur	3 (1)
	Amateur par satellite	3 (1)
42,5-43,5 GHz	Mobile	2
	Radionavigation	3
	Radionavigation par satellite	3 (1)
	Recherche spatiale	3 (1)
86-92 GHz	Mobile	2, 3
	Mobile par satellite	2
	Radionavigation	2
	Radionavigation par satellite	2
	Fréquences étalon et signaux horaires par satellite (espace-Terre)	3 (1)
105-116 GHz	Intersatellites	2
	Mobile	2, 3
	Recherche spatiale	3 (1)
	Auxiliaires de la météorologie	3
	Radiolocalisation	3
	Fixe par satellite (espace-Terre)	3
164-168 GHz	Fixe par satellite (espace-Terre)	2
	Mobile	2, 3
	Mobile par satellite (espace-Terre)	2
	Intersatellites	3
182-185 GHz	Mobile	2, 3
	Radiolocalisation	2, 3
	Intersatellites	3
	ISM	3
217-231 GHz	Mobile	3
	Amateur	3
	Amateur par satellite	3
	Radiolocalisation	3
265-275 GHz	Intersatellites	2
	Mobile	2
	Mobile par satellite	2
	Radionavigation	2
	Radionavigation par satellite	2
	Radiolocalisation	2

(1) Attribution à titre secondaire.

3. Emissions brouilleuses causées par la modulation à large bande

Dans certains types d'émissions, 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 au seuil de brouillage préjudiciable indiqué dans le Tableau 1 de la Recommandation 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 service de radioastronomie. 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 à la Recommandation 769 donne les seuils de brouillage préjudiciable 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 devraient permettre 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 $n > 2$. Il faudrait entreprendre des études détaillées pour déterminer l'influence des différentes techniques de modulation sur l'efficacité de ces systèmes actifs et supprimer les bandes latérales lointaines qui nuisent au service de radioastronomie.

4. Brouillages causés par des émissions de satellites

La radioastronomie peut être fortement brouillée par les émissions de satellites, notamment les émissions de radiodiffusion sonore et de télévision. De par la nature d'un système de radiodiffusion par satellite, de vastes portions de la surface terrestre seront illuminées et la propagation se fera en visibilité directe. Le plus souvent, les sources de brouillage de Terre se trouvent dans les lobes latéraux extrêmes d'un radiotélescope, alors qu'une émission de satellite risque de se trouver également dans le lobe principal et dans les premiers lobes latéraux, ce qui donne un gain beaucoup plus grand. Par exemple, jusqu'à 5° par rapport à l'axe du lobe principal, le gain peut être supérieur de 25 dB au gain dans les lobes latéraux extrêmes (voir la Recommandation 509).

Les satellites géostationnaires se trouvant au-dessus de l'horizon d'un observatoire pourraient être particulièrement gênants. Le rayon de l'orbite de ces satellites est approximativement 6,6 fois le rayon de la Terre. La position de cette orbite en coordonnées célestes est présentée à la Fig. 1 telle qu'on la voit de la latitude de plusieurs grands observatoires de radioastronomie. La mise en service de nombreux satellites géostationnaires risquerait de causer de graves brouillages au service de radioastronomie. Pour éliminer ce risque, il faut évidemment trouver un compromis entre la perte d'une certaine zone du ciel par les observatoires radioastronomiques et la suppression, difficile, des émissions brouilleuses en provenance des satellites. S'agissant de la zone du ciel qui est perdue pour la radioastronomie, il ressort de la Fig. 1 que, si des observations sont possibles jusqu'à une distance angulaire de 5° environ de l'orbite des satellites géostationnaires, chaque position de la voûte céleste est observable d'au moins un observatoire déjà en service s'il est doté des équipements appropriés.

L'analyse du rayonnement émis par les satellites géostationnaires est fondée sur l'hypothèse selon laquelle les orbites de ces satellites sont situées dans le plan de l'équateur terrestre. L'effet des inclinaisons orbitales dépendra de la distribution des angles d'inclinaison des satellites géostationnaires dont les émissions sont des sources potentielles de brouillage pour la radioastronomie. Cet effet nécessite un complément d'étude.

On peut s'attendre à une augmentation du nombre de satellites non géostationnaires utilisés par certains services actifs, satellites qui viendront s'ajouter aux satellites géostationnaires déjà en service. Le problème au niveau de l'orbite sera encore plus complexe car le champ de visée des radiotélescopes devra traverser cette constellation de satellites. Les services actifs prévoient d'utiliser de plus en plus ce type de satellite (satellites de radionavigation et satellites sur orbite terrestre basse du service mobile par satellite, par exemple). De nombreuses études sont faites pour tenter d'abaisser le niveau des lobes latéraux des radiotélescopes actuels et futurs. Ces efforts risquent d'être entravés par la prolifération des satellites non géostationnaires. Non seulement la portion de ciel accessible aux radioastronomes sera considérablement réduite mais la programmation des observations de radioastronomie risque de devenir impossible. Ce problème appelle un complément d'étude.

FIGURE 1

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

