

RECOMMANDATION UIT-R RA.769-1

CRITÈRES DE PROTECTION APPLICABLES AUX MESURES EN RADIOASTRONOMIE

(Question UIT-R 145/7)

(1992-1995)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les progrès de la radioastronomie ont conduit à d'importants perfectionnements d'ordre technologique, en particulier dans les techniques de réception, ainsi qu'à une meilleure connaissance des limites fondamentales imposées par le bruit radioélectrique, d'une grande importance pour les radiocommunications, et que ces progrès laissent prévoir d'autres résultats importants;
- b) que les radioastronomes ont fait des observations astronomiques utiles depuis la surface de la Terre dans une très large gamme de fréquences, de 2 MHz à 800 GHz et depuis des plates-formes spatiales à des fréquences qui vont jusqu'en dessous de 10 kHz;
- c) que la protection contre les brouillages est indispensable au progrès de la radioastronomie et des mesures qui s'y rapportent;
- d) que la sensibilité des équipements de réception en radioastronomie, qui ne cesse de s'améliorer régulièrement, dépasse de beaucoup la sensibilité de l'appareillage des télécommunications et celle des radars;
- e) qu'aux fréquences inférieures à 40 MHz environ, les conditions de propagation sont telles qu'un émetteur fonctionnant en un point quelconque de la Terre peut causer des brouillages préjudiciables au service de radioastronomie;
- f) que certaines émissions d'engins spatiaux posent, pour la radioastronomie, des problèmes de brouillage qu'il n'est possible d'éviter ni par le choix de l'emplacement d'un observatoire, ni par une protection locale;
- g) que certains types d'observations en radioastronomie exigent un enregistrement ininterrompu pendant de longues durées pouvant parfois atteindre plusieurs jours;
- h) que le service de radioastronomie peut subir des brouillages par suite de la réflexion d'émissions de services de Terre sur la Lune, sur des aéronefs et éventuellement sur des satellites artificiels;
- j) que certains types d'observations interférométriques à grand pouvoir de résolution exigent une réception simultanée, sur la même fréquence radioélectrique, par des systèmes de réception situés dans des pays ou sur des continents différents;
- k) qu'un certain degré de protection peut être obtenu, grâce à des assignations de fréquence appropriées, sur une base nationale plutôt qu'internationale;
- l) que les Conférences mondiales des radiocommunications ont fait bénéficier la radioastronomie d'attributions de fréquences plus satisfaisantes que précédemment, mais que la protection dans bien des bandes, notamment celles utilisées en partage avec d'autres services radioélectriques, nécessitera une planification minutieuse;
- m) que des critères techniques concernant les brouillages préjudiciables pour le service de radioastronomie ont été définis; ils figurent dans les Tableaux 1, 2, 3 et 4,

recommande

- 1 que les radioastronomes soient invités à choisir des emplacements aussi exempts que possible de brouillages;
- 2 que les administrations se chargent d'assurer le maximum de protection possible aux fréquences employées par les radioastronomes dans leurs propres pays et dans les pays voisins, en tenant dûment compte des niveaux de brouillage indiqués dans l'Annexe 1;

3 que les administrations, en se chargeant d'assurer la protection de certaines observations en radioastronomie, prennent toutes les mesures possibles pour réduire au minimum absolu toutes les émissions brouilleuses dans les bandes de fréquences à protéger pour la radioastronomie, et notamment les émissions faites à bord d'aéronefs, d'engins spatiaux et de ballons;

4 que les administrations, lorsqu'elles proposent des attributions de fréquences, tiennent compte du fait qu'il est très difficile pour le service de radioastronomie de partager des fréquences avec d'autres services lorsque les trajets de transmission entre les émetteurs et les observatoires sont en visibilité directe. Au-dessus de 40 MHz environ, on peut faire un partage avec un service dans lequel les émetteurs ne sont pas en visibilité directe des observatoires, mais une coordination peut être rendue nécessaire, en particulier quand ces émetteurs ont une puissance élevée.

ANNEXE 1

Sensibilité des systèmes de radioastronomie

1 Considérations générales

La manière la plus simple de définir la sensibilité d'une observation en radioastronomie consiste à spécifier la plus petite variation de puissance ΔP à l'entrée du radiomètre, qui puisse être décelée et mesurée par le radiomètre avec une grande certitude. La sensibilité est donnée par l'équation suivante:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\Delta f_0 t}} \quad (1)$$

où P et ΔP représentent des puissances de bruit, Δf_0 la largeur de bande et t le temps d'intégration. L'équation (1) se vérifie aussi si P et ΔP sont des densités spectrales de puissance. Ainsi ΔP , qui exprime la fluctuation du bruit rapportée à la densité spectrale de puissance dans l'équation de la sensibilité (1), est égale au produit de la sensibilité globale de système, exprimée en température, par la constante de Boltzmann, k , soit:

$$\Delta P = k \Delta T; \quad \text{et} \quad P = k T \quad (2)$$

de sorte que nous pouvons exprimer comme suit la sensibilité d'un radiomètre:

$$\Delta T = \frac{T}{\sqrt{2 \Delta f_0 t}} \quad (3)$$

où:

$$T = T_A + T_R$$

représente la somme de T_A (contribution à la température de bruit de l'antenne par le bruit de fond cosmique, l'atmosphère terrestre et le rayonnement de la Terre) et de T_R (température du bruit interne du récepteur). On peut utiliser les équations (1) ou (3) pour estimer la sensibilité et les seuils de brouillage préjudiciable pour les observations radioastronomiques. Les résultats sont donnés dans les Tableaux 1 et 2; on prend pour hypothèse un temps d'observation (ou d'intégration) t de 2000 s. Dans le Tableau 1 (observations du continuum), on suppose que Δf est la largeur des bandes attribuées à la radioastronomie. Dans le Tableau 2 (observations de raies spectrales), Δf est la largeur de bande des canaux (correspondant à une vitesse de 3 km/s) caractéristique d'un système de raies spectrales.

Les seuils de brouillage indiqués dans les Tableaux 1 et 2 sont, par convention, les niveaux de brouillage qui font apparaître une erreur de 10% dans la mesure de ΔP (ou de ΔT), c'est-à-dire:

$$\Delta P_H = 0,1 \Delta P \Delta f \quad (4)$$

En résumé, on peut calculer comme suit les valeurs des colonnes pertinentes des Tableaux 1 et 2:

- ΔT , au moyen de l'équation (3);
- ΔP , au moyen de l'équation (2);
- ΔP_H , au moyen de l'équation (4).

On peut encore exprimer le brouillage par la puissance surfacique incidente au niveau de l'antenne dans la largeur de bande totale, ou par la densité spectrale de la puissance surfacique S_H dans une largeur de bande de 1 Hz. Pour plus de commodité, on a indiqué les valeurs correspondant à une antenne dont le gain, dans la direction d'arrivée de l'onde brouilleuse, est égal à celui d'une antenne isotrope (antenne dont la superficie équivalente est $c^2/4\pi f^2$, c étant la vitesse de la lumière et f la fréquence).

On obtient les valeurs de $S_H \Delta f$ (dB(W/m²)) en ajoutant à ΔP_H la quantité:

$$20 \log f - 38,6 \quad \text{dB} \quad (5)$$

f étant en MHz. Pour obtenir S_H , il suffit de retrancher la quantité $10 \log \Delta f$ afin de tenir compte de la largeur de bande.

On a calculé les sensibilités et les seuils du brouillage figurant dans les Tableaux 1 et 2 sur la base d'un temps d'intégration de 2000 s. En fait, les temps d'intégration effectivement utilisés pour les observations astronomiques diffèrent beaucoup d'un cas à un autre. Une valeur de 2000 s convient assez bien quand on observe le continuum avec un seul radiotélescope (et non avec un réseau interférométrique). Ce temps d'intégration correspond à des observations de bonne qualité. On utilise souvent des temps qui sont dix fois plus grands. Pour certains types d'observation, comme les éruptions solaires, il n'est pas nécessaire d'utiliser la sensibilité maximale. En revanche, une valeur de 2000 s est moins représentative pour les observations de raies spectrales. L'amélioration de la stabilité des récepteurs et la multiplication des spectromètres à corrélation ont conduit à utiliser plus souvent des temps d'intégration plus longs. Une valeur de 10 h serait plus représentative pour les observations de ce genre, et l'amélioration correspondante de la sensibilité serait de 6 dB par rapport à celle qui figure dans le Tableau 2.

On peut s'attendre à ce que les modifications apportées aux systèmes de réception améliorent leur qualité de fonctionnement dans l'avenir. Les effets les plus importants de ces améliorations devraient se faire sentir dans les très hautes fréquences qui sont maintenant utilisées par les radioastronomes. Si l'on peut obtenir pour les récepteurs une température de 10 K à des fréquences supérieures à 30 GHz, l'amélioration de leur sensibilité sera de l'ordre de 6 dB.

Les niveaux indiqués dans les Tableaux 1 et 2 s'appliquent aux sources de signaux brouilleurs de Terre et sont valables pour les brouillages intentionnels ou non. La puissance surfacique des signaux brouilleurs et la densité spectrale de puissance, indiquées dans les Tableaux 1 et 2, sont basées sur une valeur de 0 dBi pour les lobes latéraux et doivent être considérées comme des critères de brouillage généraux applicables aux observations de radioastronomie très sensibles, lorsque les brouillages ne pénètrent pas dans les lobes latéraux proches.

Pour permettre de trouver plus aisément les seuils de brouillage correspondant à telle ou telle bande, on a récapitulé les résultats pertinents des Tableaux 1 et 2 dans le Tableau 3.

On trouvera dans la Recommandation UIT-R SA.509 un modèle des niveaux types des lobes latéraux pour de grandes antennes paraboliques pour les fréquences comprises entre 2 et 10 GHz. Dans ce modèle le niveau des lobes latéraux décroît en fonction de la distance angulaire φ (degrés) par rapport à l'axe du faisceau principal; il est égal à $32 - 25 \log \varphi$ (dBi) pour $1^\circ < \varphi < 48^\circ$. A 19° par rapport à l'axe du faisceau principal, le niveau est de 0 dBi. Une source de brouillage de puissance surfacique égale aux valeurs de seuil données au Tableau 1 serait nuisible si l'antenne était orientée à moins de 19° de cette source. Donc, dans certaines situations, un brouillage au seuil nuisible du Tableau 1 risque de causer des difficultés aux radioastronomes.

2 Cas particuliers

2.1 Brouillages causés par les satellites géostationnaires

Le brouillage causé par les satellites géostationnaires constitue un cas particulièrement important. Les niveaux de puissance figurant aux Tableaux 1 et 2 ayant été calculés dans l'hypothèse d'un gain d'antenne de 0 dBi, des brouillages préjudiciables se produisent lorsqu'une antenne de référence, semblable à celle qui est décrite dans la Recommandation UIT-R SA.509, est pointée à moins de 19° d'un satellite rayonnant à des niveaux conformes à ceux indiqués dans ces Tableaux. Avec une série d'émetteurs semblables situés à intervalles de 30° sur l'orbite des satellites géostationnaires (OSG), il ne serait pas possible de faire des observations de radioastronomie de grande sensibilité dans une bande de la voûte céleste large de 38° et centrée sur l'orbite. La perte d'une portion aussi importante de la voûte céleste imposerait de graves restrictions aux observations de radioastronomie.

En général, il n'est pas possible dans la pratique de ramener les émissions non désirées, provenant de satellites en dessous du niveau préjudiciable dans le cas où le faisceau principal d'un radiotélescope est pointé directement sur le satellite. Une solution possible consiste à observer la projection de l'OSG en coordonnées célestes, vue des latitudes de plusieurs observatoires importants de radioastronomie (voir la Recommandation UIT-R RA.517). S'il était possible de pointer un radiotélescope à moins de 5° du plan de l'OSG sans qu'il soit soumis à un brouillage préjudiciable, les observations de haute sensibilité resteraient impossibles pour ce radiotélescope dans une bande de ciel large de 10° , cela constituerait une perte importante pour un observatoire donné. Toutefois, on constate que pour une combinaison de radiotélescopes situés à des latitudes nord et sud et fonctionnant sur les mêmes bandes de fréquences, la totalité de la voûte céleste serait accessible. On peut donc considérer qu'une valeur de 5° constitue l'écart angulaire minimal nécessaire entre le faisceau principal d'une antenne de radioastronomie et le plan de l'OSG.

Dans le modèle d'antenne de la Recommandation UIT-R SA.509, le niveau des lobes latéraux à 5° du faisceau principal est de 15 dBi. Ainsi, pour éviter que des brouillages préjudiciables ne soient causés à un radiotélescope pointé à moins de 5° de l'émetteur, il convient que les émissions des satellites soient réduites de 15 dB au-dessous des puissances surfaciques indiquées aux Tableaux 1 et 2. Lorsque l'espacement des satellites sur l'OSG n'atteint que quelques degrés, le niveau des émissions de chaque émetteur doit être encore plus faible pour satisfaire à la condition suivante: la somme des puissances de tous les signaux brouilleurs reçus doit être inférieure de 15 dB aux ΔP_H spécifiés aux Tableaux 1 et 2.

Il est reconnu que les limitations des émissions dont il est question plus haut, ne permettent pas, dans la pratique, un partage de la même bande de fréquences entre la radioastronomie et les émissions sur les liaisons descendantes des satellites. Ces limitations s'appliquent néanmoins aux émissions non désirées provenant des émetteurs de satellite qui tombent dans les bandes de radioastronomie énoncées aux Tableaux 1 et 2. Ces limitations des émissions ont des conséquences pour les services spatiaux responsables des brouillages, qui exigent une évaluation approfondie. En outre, dans la conception des nouvelles antennes de radioastronomie, il faudra s'efforcer de réduire à un minimum le gain des lobes latéraux à proximité du faisceau principal, moyen important pour réduire les brouillages causés par les émetteurs sur l'OSG.

2.2 Sensibilité des interféromètres et des réseaux d'antennes aux brouillages radioélectriques

Deux paramètres réduisent la sensibilité au brouillage. Ils tiennent d'une part à la fréquence des instabilités (oscillations) des franges que l'on observe lorsque les sorties de deux antennes sont combinées et d'autre part au fait qu'on observe des temps de propagation relatifs différents avant recombinaison des composantes du signal brouilleur reçu par différentes antennes largement espacées. Le cas est plus complexe que pour les antennes uniques (§ 1). En gros, le plus important est que le temps d'intégration effectif pendant lequel le brouillage affecte la mesure est ramené du temps total d'observation à la période moyenne d'une oscillation naturelle des franges. Ce temps est généralement compris entre quelques secondes dans le cas d'un réseau dense où l'espacement prévu entre les antennes est le plus grand $L' \sim 10^3 \lambda$ où λ est la longueur d'onde, et moins de 1 ms pour des réseaux intercontinentaux où l'espacement est égal à $L' \sim 10^7 \lambda$. Ainsi, par rapport à un radiotélescope unique, l'interféromètre a une insensibilité au brouillage qui, avec des hypothèses raisonnables, augmente en fonction des dimensions du réseau exprimées en longueurs d'onde.

Les plus insensibles aux brouillages sont les interféromètres et les réseaux d'antennes dans lesquels l'espacement entre les antennes est suffisamment grand pour que le risque de brouillages corrélés soit très faible (par exemple pour l'interférométrie à très grande base (VLBI)). Dans ce cas, les considérations précédentes ne s'appliquent pas. Le niveau de brouillage acceptable est assujéti à la contrainte suivante: le niveau de puissance du signal brouilleur ne devrait pas dépasser 1% du niveau de bruit du récepteur afin d'éviter de graves erreurs dans la mesure de l'amplitude des signaux cosmiques. Les niveaux de brouillage applicables à des observations VLBI types sont indiqués dans le Tableau 4.

Il faut souligner que l'utilisation de grands interféromètres et de grands réseaux se limite généralement aux études des sources discrètes de forte intensité avec des dimensions angulaires inférieures à quelques dizaines de seconde d'arc pour l'interférométrie à très grande base (VLBI). Pour des études plus générales des radiosources, les résultats indiqués dans les Tableaux 1 et 2 sont valables et conviennent pour la protection générale de la radioastronomie.

TABLEAU 1

Seuils de brouillage préjudiciables aux observations de continuum en radioastronomie

Fréquence centrale ⁽¹⁾ f_c (MHz)	Largeur de bande supposée Δf_A (MHz)	Température de bruit minimale de l'antenne T_A (K)	Température de bruit du récepteur T_R (K)	Sensibilité du système ⁽²⁾ (fluctuation du bruit)		Seuils du brouillage préjudiciable ^{(2) (3)}		
				Température ΔT (mK)	Densité spectrale de puissance par Hz ΔP (dB(W/Hz))	Puissance reçue à l'entrée ΔP_H (dBW)	Puissance surfacique $S_H \Delta f_A$ (dB(W/m ²))	Densité spectrale de puissance surfacique S_H (dB(W/(m ² · Hz)))
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
13,385	0,05	60 000	100	4 250	- 222	- 185	- 201	- 248
25,610	0,120	20 000	100	917	- 229	- 188	- 199	- 249
73,8	1,6	1 000	100	14	- 247	- 195	- 196	- 258
151,525	2,95	200	100	2,76	- 254	- 199	- 194	- 259
325,3	6,6	40	100	0,86	- 259	- 201	- 189	- 258
408,05	3,9	25	100	1,00	- 259	- 203	- 189	- 255
611	6,0	15	100	0,74	- 260	- 202	- 185	- 253
1 413,5	27	10	20	0,091	- 269	- 205	- 180	- 255
1 665	10	10	20	0,15	- 267	- 207	- 181	- 251
2 695	10	10	20	0,15	- 267	- 207	- 177	- 247
4 995	10	10	20	0,15	- 267	- 207	- 171	- 241
10 650	100	12	20	0,05	- 272	- 202	- 160	- 240
15 375	50	15	30	0,10	- 269	- 202	- 156	- 233
23 800	400	15	50	0,051	- 271	- 195	- 147	- 233
31 550	500	18	100	0,083	- 269	- 192	- 141	- 228
43 000	1 000	25	100	0,063	- 271	- 191	- 137	- 227
89 000	6 000	30	150	0,037	- 273	- 185	- 125	- 222
110 500	11 000	40	150	0,029	- 274	- 184	- 121	- 222
166 000	4 000	40	150	0,048	- 272	- 186	- 120	- 216
224 000	14 000	40	200	0,032	- 274	- 182	- 114	- 215
270 000	10 000	40	200	0,038	- 273	- 183	- 113	- 213

(1) Le calcul des seuils du brouillage est fondé sur la fréquence centrale indiquée dans cette colonne, bien que toutes les régions n'aient pas prévu la même attribution.

(2) Le temps d'intégration supposé est de 2 000 s; selon qu'on utilise le temps d'intégration de 15 min, 1 h, 2 h, 5 h ou 10 h, ajouter aux valeurs correspondantes du tableau respectivement: + 1,7; - 1,3; - 2,8; - 4,8 ou - 6,3 dB.

(3) Les niveaux de brouillage indiqués sont ceux qui s'appliquent aux mesures de la puissance totale que reçoit une seule antenne. Des niveaux moins stricts peuvent convenir pour d'autres types de mesure (voir le § 2.2). Pour les émetteurs sur orbite géostationnaire, les niveaux devraient être inférieurs de 15 dB (voir le § 2.1).

TABLEAU 2*

Seuils de brouillage préjudiciables aux observations de raies spectrales en radioastronomie

Fréquence f (MHz)	Largeur supposée de la voie pour la raie spectrale Δf_c (kHz)	Température de bruit minimale de l'antenne T_A (K)	Température de bruit du récepteur T_R (K)	Sensibilité du système ⁽¹⁾ (fluctuation du bruit)		Seuils du brouillage préjudiciable ^{(1) (2)}		
				Température ΔT (mK)	Densité spectrale de puissance par Hz ΔP (dB(W/Hz))	Puissance reçue à l'entrée ΔP_H (dBW)	Puissance surfaccique $S_H \Delta f_c$ (dB(W/m ²))	Densité spectrale de puissance surfaccique S_H (dB(W/(m ² · Hz)))
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
327	10	40	100	22,1	-245	-215	-204	-244
1 420	20	10	20	3,35	-253	-220	-196	-239
1 612	20	10	20	3,35	-253	-220	-194	-238
1 665	20	10	20	3,35	-253	-220	-194	-237
4 830	50	10	20	2,12	-255	-218	-183	-230
14 500	150	15	30	1,84	-256	-214	-169	-221
22 200	250	40	50	2,85	-254	-210	-162	-216
23 700	250	40	50	2,85	-254	-210	-161	-215
43 000	500	25	100	2,80	-254	-207	-153	-210
48 000	500	30	100	2,91	-254	-207	-152	-209
88 600	1 000	30	150	2,85	-254	-204	-144	-204
98 000	1 000	40	150	3,00	-254	-204	-143	-203
115 000	1 000	50	150	3,16	-254	-204	-141	-201
140 000	1 500	40	150	2,45	-255	-203	-139	-200
178 000	1 500	40	150	2,45	-255	-203	-136	-198
220 000	2 500	40	200	2,40	-255	-201	-133	-197
265 000	2 500	40	200	2,40	-255	-201	-131	-195

* Le présent tableau ne vise pas à donner la liste complète des bandes/raies spectrales. Il ne contient que des exemples représentatifs pris dans le spectre.

- (1) Le temps d'intégration supposé est de 2 000 s; selon qu'on utilise un temps d'intégration de 15 min, 1 h, 2 h, 5 h ou 10 h, ajouter aux valeurs correspondantes du tableau respectivement: + 1,7; - 1,3; - 2,8; - 4,8 ou - 6,3 dB.
- (2) Les niveaux de brouillage indiqués sont ceux qui s'appliquent aux mesures de la puissance totale que reçoit une seule antenne. Des niveaux moins stricts peuvent convenir pour d'autres types de mesure (voir le § 2.2). Pour les émetteurs sur orbite géostationnaire, les niveaux devraient être inférieurs de 15 dB (voir le § 2.1).

EXPLICATION DES EN-TÊTES DES COLONNES DES TABLEAUX 1 ET 2

Colonne

- (1) Fréquence centrale de la bande attribuée à la radioastronomie (Tableau 1) ou fréquence nominale de la raie spectrale (Tableau 2).
- (2) Largeur de bande supposée ou attribuée (Tableau 1) ou largeur supposée des canaux représentant les valeurs typiques pour l'observation de raies spectrales (Tableau 2).
- (3) La température de bruit minimale de l'antenne se compose du bruit ionosphérique, du bruit atmosphérique et du rayonnement de la Terre.
- (4) Température de bruit du récepteur représentative d'un système radiométrique de bonne qualité, destiné à des observations radioastronomiques de grande sensibilité.
- (5) Sensibilité totale du système, en millikelvin, qu'on a calculée d'après la formule (1) en tenant compte des températures de bruit combinées de l'antenne et du récepteur, de la largeur de canal indiquée sur la liste et d'un temps d'intégration de 2 000 s.
- (6) Comme pour (5), mais exprimée en densité spectrale de puissance de bruit à l'aide de la relation $\Delta P = k \Delta T$, avec $k = 1,38 \times 10^{-23}$ (J/K) (constante de Boltzmann). Les nombres inscrits dans cette colonne sont les valeurs logarithmiques de ΔP .
- (7) Puissance à l'entrée du récepteur que l'on considère comme préjudiciable pour des observations de grande sensibilité (ΔP_H). Il s'agit du seuil de brouillage qui introduit une erreur au plus égale à 10% dans la mesure de ΔP ; $\Delta P_H = 0,1 \Delta P \Delta f$. Les nombres inscrits dans cette colonne sont les logarithmes de ΔP_H .
- (8) Puissance surfacique dans le canal de la raie spectrale, qui est nécessaire pour donner une puissance ΔP_H dans un système de réception équipé d'une antenne de réception isotrope. Les nombres inscrits dans cette colonne sont les logarithmes de $S_H \Delta f$.
- (9) Densité spectrale de puissance surfacique dans le canal de la raie spectrale, qui est nécessaire pour donner une puissance ΔP_H dans un système de réception, équipé d'une antenne de réception isotrope. Les nombres inscrits dans cette colonne sont les logarithmes de S_H .

TABLEAU 3

Tableau simplifié des seuils de brouillage préjudiciables extraits des Tableaux 1 et 2

Bande de radioastronomie	Puissance surfacique (dB(W/m ²))	Densité spectrale de puissance surfacique (dB(W/(m ² · Hz)))
13,36-13,41 MHz	-201	-248
25,55-26,70 MHz	-199	-249
73,0-74,6 MHz	-196	-258
150,05-153,0 MHz	-194	-259
322,0-328,6 MHz	-204	-258
406,1-410,0 MHz	-189	-255
608-614 MHz	-185	-253
1 400-1 427 MHz	-196	-255
1 610,6-1 613,8 MHz	-194	-238
1 660-1 670 MHz	-194	-251
2 690-2 700 MHz	-177	-247
4 990-5 000 MHz	-171	-241
10,6-10,7 GHz	-160	-240
15,35-15,4 MHz	-156	-233
22,1-22,5 GHz	-162	-233
23,6-24,0 GHz	-161	-233
31,3-31,8 GHz	-141	-228
42,5-43,5 GHz	-153	-227
86-92 GHz	-144	-222
105-116 GHz	-141	-222
164-168 GHz	-136	-216
182-185 GHz	-135	-216
217-231 GHz	-133	-215
265-275 GHz	-131	-213

TABLEAU 4

**Niveaux de brouillage préjudiciable applicables
aux observations VLBI**

Fréquence centrale, $f_c^{(1)}$ (MHz)	Niveaux de brouillage, S_H (dB(W/(m ² · Hz)))
325,3	-215
611	-211
1 413,5	-209
2 695	-204
4 995	-198
10 650	-192
15 375	-187
23 800	-182
43 000	-173
86 000	-166

⁽¹⁾ Les niveaux de brouillage préjudiciable à d'autres fréquences utilisées pour l'interférométrie à très grande base (VLBI) peuvent être déduits par interpolation.