

RECOMMANDATION UIT-R SA.1157-1

Critères de protection pour la recherche dans l'espace lointain

(1995-2006)

Domaine de compétence

La présente Recommandation spécifie les critères de protection nécessaires pour contrôler, commander et exploiter avec succès les satellites de recherche dans l'espace lointain habités ou non, c'est-à-dire les satellites effectuant leurs missions dans l'espace à plus de 2 millions de km de la Terre.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la recherche dans l'espace lointain à l'aide d'engins habités exige, de par son caractère exceptionnel, des radiocommunications extrêmement fiables pour assurer la sécurité de la vie humaine;
- b) que la recherche dans l'espace lointain avec des engins aussi bien habités que non habités exige, de par son caractère exceptionnel, des radiocommunications extrêmement fiables pour assurer une bonne réception de données scientifiques précieuses recueillies à des moments bien précis et que souvent il n'est pas possible de transmettre deux fois ces données;
- c) qu'en raison de l'extrême sensibilité des stations terriennes de recherche dans l'espace lointain, les niveaux de brouillage admissible sont exceptionnellement bas;
- d) que des critères de protection ont été calculés comme indiqué dans l'Annexe 1 pour les stations terriennes et pour les stations utilisées dans l'espace lointain;
- e) que la sensibilité au brouillage a été calculée comme indiqué dans l'Annexe 2,

recommande

1 de fixer pour les stations terriennes de recherche dans l'espace lointain les critères de protection suivants:

- 222 dB(W/Hz) dans les bandes au voisinage de 2 GHz,
- 221 dB(W/Hz) dans les bandes au voisinage de 8 GHz,
- 220 dB(W/Hz) dans les bandes au voisinage de 13 GHz,
- 217 dB(W/Hz) dans les bandes au voisinage de 32 GHz;

2 de fixer pour les stations à bord d'engins spatiaux pour la recherche dans l'espace lointain les critères de protection suivants:

- 193 dB(W/20 Hz) dans les bandes au voisinage de 2 GHz,
- 190 dB(W/20 Hz) dans les bandes au voisinage de 7 GHz,
- 186 dB(W/20 Hz) dans les bandes au voisinage de 17 GHz,
- 183 dB(W/20 Hz) dans les bandes au voisinage de 34 GHz;

3 de se fonder, pour calculer le brouillage qui peut résulter des variations atmosphériques et des précipitations, sur les statistiques météorologiques indiquées pour 0,001% du temps (voir le § 2.3 de l'Annexe 1).

Annexe 1

Critères de protection pour la recherche dans l'espace lointain

1 Introduction

La présente Annexe définit les critères de protection pour la recherche dans l'espace lointain. Ces critères peuvent être utilisés dans les calculs de distance de coordination ou pour d'autres analyses. Ils sont aussi applicables à l'étude des possibilités de partage dans le service de recherche spatiale. On y trouve aussi des considérations sur les risques de brouillage au détriment d'autres services et des conclusions quant aux possibilités de partage. Il n'y est pas question des futurs satellites relais qui seront utilisés dans le cadre des missions dans l'espace lointain.

Les critères de protection sont fondés sur la sensibilité des récepteurs généralement utilisés pour la recherche dans l'espace lointain, comme l'indique l'Annexe 2.

1.1 Les brouillages et leurs conséquences

La conséquence du brouillage qui dégrade le bon fonctionnement du récepteur d'une station terrienne ou d'une station spatiale peut être une réduction ou une interruption des possibilités de faire évoluer et de commander un engin spatial et de la possibilité de recevoir les données scientifiques et techniques envoyées par un engin spatial.

Le récepteur contient plusieurs boucles de synchronisation, servant chacune à verrouiller et à poursuivre une composante particulière du signal. Si un brouillage est assez intense, une ou plusieurs des boucles cesseront d'être verrouillées sur le signal utile. Un brouillage momentané peut avoir un tel effet et la reprise du verrouillage peut demander plusieurs minutes dans le cas des signaux les plus faibles. Or, pendant les périodes critiques qui se produisent au cours de la plupart des missions dans l'espace lointain, il est essentiel que certaines données scientifiques soient émises et reçues sans erreur ni interruption. La perte de verrouillage pendant une de ces périodes entraîne une perte de données irréparable. C'est pour cette raison que les conditions de protection contre les brouillages doivent être aussi strictes. Par opposition, les données que l'on a à transmettre dans certains autres services de radiocommunication restent souvent disponibles pour être retransmises.

Pour certains modes de fonctionnement, les largeurs de bande des boucles sont particulièrement étroites. C'est par exemple le cas de la boucle de poursuite de la porteuse dans le récepteur d'une station terrienne, dont la largeur de bande peut être de 1 Hz ou encore moins (300 mHz) dans des circonstances particulières. On pourrait en conclure qu'il y a peu de chance pour qu'un signal brouilleur tombe justement dans cette bande, mais il faut se rappeler que la fréquence du signal utile subit un effet Doppler par suite de la rotation de la Terre. Par exemple, un signal à 8,4 GHz sera décalé de ± 11 kHz quand il est reçu par une station terrienne située à 35° de latitude. Un signal brouilleur de fréquence fixe, situé n'importe où dans la bande décalée par effet Doppler du signal de l'engin spatial, balayera la bande de la boucle de poursuite, d'où un risque de déverrouillage. De plus, il n'est pas nécessaire que le brouillage se produise exactement dans la largeur de bande de la boucle pour affecter cette dernière. Dès lors que le brouillage est proche de la bande de la boucle et

qu'il est suffisamment puissant, une forte dégradation peut se produire. Un brouillage éloigné de la bande de la boucle peut aussi causer une dégradation par l'intermédiaire d'autres mécanismes, comme la saturation d'un maser.

1.2 Elaboration des critères de protection

Pour assurer le bon fonctionnement de l'ensemble du système de réception, chacun des quatre sous-systèmes doit être protégé contre les brouillages. Un critère de protection spécifie la puissance de brouillage qui entraînera une dégradation acceptable maximale de la qualité. La dégradation maximale acceptable pour chacun des sous-systèmes est indiquée dans le Tableau 1. On peut déterminer le brouillage maximal correspondant en utilisant ces valeurs.

Dans la suite de cette Annexe, on établira des critères de protection. A chacun des sous-systèmes de réception correspond une dégradation maximale acceptable de la qualité, causée par le brouillage. L'Annexe 2 indique le niveau de brouillage susceptible de causer cette dégradation. Le sous-système de réception le plus sensible au brouillage détermine le brouillage maximal admissible. Cette valeur correspond au critère de protection pour le récepteur. Tout brouillage dépassant cette valeur est préjudiciable.

TABLEAU 1

Dégradation maximale acceptable des sous-systèmes de réception

Sous-système de réception	Dégradation maximale acceptable
Préamplificateur maser	Compression de gain de 1 dB
Poursuite de la porteuse	10° d'erreur de phase statique ou gigue de phase de crête sur la boucle
Télémesure	Réduction équivalente de 1 dB du rapport énergie par symbole/densité spectrale de bruit ($\Delta E/N_0 = -1$ dB)
Téléométrie	Réduction équivalente de 1 dB du rapport énergie par symbole/densité spectrale de bruit ($\Delta E/N_0 = -1$ dB)

2 Critères de protection pour les stations terriennes de recherche dans l'espace lointain

Il existe quatre sous-ensembles sensibles aux brouillages: le préamplificateur maser, la boucle de poursuite de la porteuse, le sous-système de télémesure et le sous-système de téléométrie.

2.1 Dégradation maximale admissible de la qualité

Le gain d'un amplificateur maser est réduit en fonction de la puissance d'entrée de signaux ou de brouillages très intenses. Cette compression de gain aboutit à un fonctionnement non linéaire. Un brouillage intense peut donc produire des effets non linéaires sur le signal utile, y compris la génération de signaux parasités. On considère que la compression de gain maximale acceptable est de 1 dB. L'utilisation de la compression de gain en tant que mesure des effets non linéaires est pratique courante.

La réponse de la boucle de poursuite de la porteuse à un brouillage est une augmentation de l'erreur et de la gigue de phase. (Un brouillage suffisamment fort peut causer une perte de verrouillage.) On considère que la dégradation maximale acceptable est une augmentation de 10° de l'erreur de phase statique ou une augmentation de 10° de la crête de la gigue de phase.

La dégradation du taux d'erreur binaire de télémétrie et de la précision de télémétrie à la suite d'un brouillage peut être exprimée en termes de réduction correspondante du rapport signal/bruit. La dégradation maximale acceptable pour les sous-systèmes de télémétrie et de télémétrie correspond à une réduction de 1 dB du rapport énergie par symbole/densité spectrale de bruit.

Le brouillage maximal admissible pour chaque sous-ensemble du récepteur est calculé en fonction de la dégradation admissible maximale correspondante. Le critère de protection pour l'ensemble du récepteur est le brouillage maximal admissible pour le sous-ensemble le plus vulnérable.

Le Tableau 1 indique la dégradation maximale acceptable de la qualité pour chacun des quatre sous-systèmes de réception.

2.2 Niveaux de brouillage correspondant à la dégradation maximale admissible de la qualité

2.2.1 Préamplificateur maser

Le Tableau 2 montre la puissance de brouillage qui produit une compression de gain de 1 dB dans le préamplificateur maser. L'origine des données se trouve à l'Annexe 2.

TABLEAU 2

Puissance de brouillage maximale admissible pour une compression de gain de 1 dB dans le préamplificateur maser à 8,4 GHz

Type de brouillage	Origine des données	Brouillage pour une compression de gain de 1 dB
Onde entretenue	Fig. 2	-114 dBW
Bruit (largeur de bande 40 MHz)	Fig. 2	-190 dB(W/Hz)

2.2.2 Sous-ensembles poursuite de la porteuse, télémétrie et télémétrie

2.2.2.1 Rapports de brouillage pour la poursuite de la porteuse, la télémétrie et la télémétrie

Le Tableau 3 montre le rapport brouillage/porteuse (I/C) le rapport brouillage/signal (I/S) ou le rapport brouillage/bruit (I/N) qui correspondent à la dégradation admissible des sous-ensembles poursuite de la porteuse, télémétrie et télémétrie. Ces rapports sont obtenus ainsi:

Pour le brouillage par signaux à ondes entretenues, le rapport de brouillage admissible pour chaque sous-ensemble se déduit directement des courbes figurant à l'Annexe 2.

Pour le brouillage à caractère de bruit causé au circuit de poursuite de la porteuse, la Fig. 8 montre qu'une réduction de 10 dB (point type d'exploitation minimal) à 5,5 dB de la marge de la porteuse se traduit par 10° supplémentaires de gigue de phase. Le rapport I/N correspondant est donné par la relation:

$$I_0/N_0 = 10 \log (10^{(CM_0/10)}/10^{(CM_i/10)} - 1) \quad \text{dB}$$

ù:

I_0/N_0 : rapport densité spectrale de bruit de brouillage/densité spectrale de bruit du récepteur

CM_0 : marge (dB) de la porteuse sans brouillage

CM_i : marge (dB) de la porteuse avec brouillage

et la marge de la porteuse est le rapport puissance de la porteuse/puissance du bruit dans la boucle de poursuite de la porteuse.

Pour le brouillage à caractère de bruit causé aux sous-ensembles de télémétrie et de télémesure, le rapport I/N est donné par la formule:

$$I_0/N_0 = 10 \log (10^{(\Delta E/N_0)/10} - 1) \quad \text{dB}$$

où:

I_0/N_0 : rapport densité spectrale de bruit de brouillage/densité spectrale de bruit du récepteur

$\Delta E/N_0$: critère donné au Tableau 1 et qui est la réduction du rapport énergie par symbole/densité spectrale de bruit ou du rapport signal/bruit.

TABLEAU 3

Rapport I/C , I/S ou I/N maximal admissible pour les brouillages par onde entretenue ou à caractère de bruit

Sous-ensemble (critère)	Type de brouillage	Origine des données	Rapport de brouillage maximal
<i>Poursuite de la porteuse</i> (10° de plus de crête de gigue de phase)	Onde entretenue	Fig. 3	$I/C = -15$ dB
	Bruit	Fig. 8 et calcul	$I_0/N_0 = +2,6$ dB
<i>Télémétrie</i> (Réduction de 1 dB du rapport E/N_0 due au brouillage dans le circuit de poursuite de la porteuse)	Onde entretenue	Fig. 5	$I/C = -1,5$ dB
<i>Télémétrie</i> (Réduction de 1 dB du rapport E/N_0 due au brouillage dans la largeur de bande de détection de télémétrie)	Onde entretenue	Fig. 4	$I/S = -11$ dB
	Bruit	Calculé	$I_0/N_0 = -5,9$ dB
<i>Télégraphie</i> (Réduction de 1 dB du rapport E/N_0 due au brouillage dans le circuit de poursuite de la porteuse)	Onde entretenue	Fig. 6	$I/C = -5$ dB
<i>Télégraphie</i> (Réduction de 1 dB du rapport E/N_0 due au brouillage dans la largeur de bande de l'évaluateur de distance)	Onde entretenue	Fig. 7	$I/S = -7,1$ dB
	Bruit	Calculé	$I_0/N_0 = -5,9$ dB

2.2.2.2 Brouillage maximal admissible pour la poursuite de la porteuse pour la télémesure et pour la télégraphie

S'agissant du brouillage par ondes entretenues, le brouillage maximal admissible dépend du rapport I/C (I/S) et du niveau minimal (du signal) de la porteuse déterminé par le point de fonctionnement nominal du récepteur. Dans l'hypothèse où les signaux de la porteuse, de télémesure et de télégraphie ont une puissance identique, le Tableau 3 montre que le brouillage maximal admissible par ondes entretenues est conditionné par la boucle de poursuite de la porteuse, parce qu'elle exige le plus faible I/C .

Pour la poursuite de la porteuse, le rapport minimal porteuse/bruit est de 10 dB. La puissance admissible correspondante du brouillage à caractère de bruit est donnée par la formule:

$$P_i = N_0 + 10 \log B + 10 + I/C$$

où:

P_i : puissance de brouillage maximale admissible pour la poursuite de la porteuse (dBW)

N_0 : densité spectrale du bruit du récepteur, donnée au Tableau 4 (dB(W/Hz))

B : largeur de bande de la boucle de poursuite de la porteuse (supposée être 1 Hz)

I/C : rapport brouillage/porteuse donné au Tableau 3 (dB).

Les résultats de ces calculs sont résumés dans le Tableau 4.

TABLEAU 4

Puissance de brouillage maximale admissible pour les récepteurs de stations terriennes

Bande (GHz)	Densité spectrale de bruit du récepteur (dB(W/Hz))	Puissance maximale par onde entretenue (dBW)	Densité spectrale de puissance maximale pour le brouillage à caractère de bruit (dB(W/Hz))
2,29-2,30	-216,6	-221,6	-222,5
8,40-8,45	-215,0	-220,0	-220,9
12,75-13,25	-214,6	-219,6	-220,5
31,8-32,3	-211,4	-216,4	-217,3

2.3 Critères de protection pour les récepteurs des stations terriennes de recherche dans l'espace lointain

Le Tableau 5 indique le brouillage maximal qui n'entraîne pas de dégradation supérieure à la dégradation admissible de la qualité de fonctionnement des récepteurs de station terrienne. Ces valeurs sont les critères de protection pour les récepteurs de station terrienne de recherche dans l'espace lointain; tout brouillage dépassant ces valeurs est préjudiciable. Ce Tableau montre aussi la puissance spectrale surfacique correspondant à l'ouverture d'une antenne de 70 m, qui présente un rendement surfacique d'environ 70% pour les fréquences les moins élevées de la gamme, et de 40% à 32 GHz.

TABLEAU 5

Protection contre le brouillage pour les récepteurs de stations terriennes de recherche dans l'espace lointain

Bande (GHz)	Densité spectrale de puissance de brouillage maximale admissible (dB(W/Hz))	Densité spectrale de puissance surfacique de brouillage maximale admissible (dB(W/m ² · Hz))
2,29-2,30	-222,5	-257,0
8,40-8,45	-220,9	-255,1
12,75-13,25	-220,5	-254,3
31,8-32,3	-217,3	-249,3

Pour protéger les récepteurs de station terrienne, la densité spectrale de puissance du brouillage à caractère de bruit, ou la puissance totale du brouillage par signaux à ondes entretenues, ne doit pas être supérieure à la valeur indiquée au Tableau 5.

Pour déterminer la zone de coordination entourant une station terrienne, il faut tenir compte des effets des variations des conditions météorologiques sur la propagation. Pour limiter les interruptions de service dues aux renforcements de la propagation transhorizon à moins de 5 min pour toute période de 24 h, il faut tenir compte des conditions de propagation pendant l'heure la plus défavorable de l'année sur le plan des conditions météorologiques, ainsi que de la période de 5 min la plus défavorable pendant cette heure. On considère que ces conditions se produisent pendant 0,001% du temps.

L'Appendice 7 du Règlement des radiocommunications montre que l'application de cette valeur de 0,001% entraîne une légère augmentation de la distance de coordination, par rapport à la distance applicable dans le cas d'un service plus tolérant au niveau des interruptions.

3 Critères de protection pour les stations spatiales de recherche dans l'espace lointain

Les récepteurs des stations spatiales et ceux des stations terriennes pour la recherche dans l'espace lointain fonctionnent selon un principe semblable, le récepteur d'une station spatiale ne comprenant toutefois pas de maser. Les stations spatiales sont donc exposées aux brouillages de la même manière que les stations terriennes.

Pour la protection des récepteurs des stations spatiales de recherche dans l'espace lointain, le critère appliqué est que la puissance de brouillage ne doit pas être supérieure à la puissance de bruit du récepteur. Par rapport aux critères applicables aux stations terriennes de recherche dans l'espace lointain, cette exigence est moins rigoureuse, ce qui s'explique par les marges de performances généralement plus larges sur le trajet Terre-espace. Pour la protection des stations spatiales, la densité spectrale de puissance des signaux de brouillage à large spectre, ou la puissance totale des signaux de brouillage en ondes entretenues, dans toute bande de 20 Hz, ne devrait pas dépasser la valeur donnée au Tableau 6 aux bornes d'entrée du récepteur; tout brouillage supérieur est préjudiciable. Les 20 Hz dont il s'agit sont la largeur de bande de la boucle de poursuite de la porteuse du répéteur de l'engin spatial fonctionnant au niveau de seuil du signal. Les valeurs de la température de bruit indiquées dans le Tableau 6 sont des estimations valables pour des systèmes pratiques actuels qui pourraient être utilisés dans l'espace lointain.

TABLEAU 6

Protection contre le brouillage pour les récepteurs dans l'espace lointain

Bande (GHz)	Température de bruit du récepteur (K)	Densité spectrale de puissance de brouillage maximale admissible (dB(W/20 Hz))
2,11-2,12	200	-192,6
7,145-7,190	330	-190,4
16,6-17,1	910	-186,0
34,2-34,7	2 000	-182,6

Annexe 2

Sensibilité au brouillage des systèmes de réception pour la recherche dans l'espace lointain

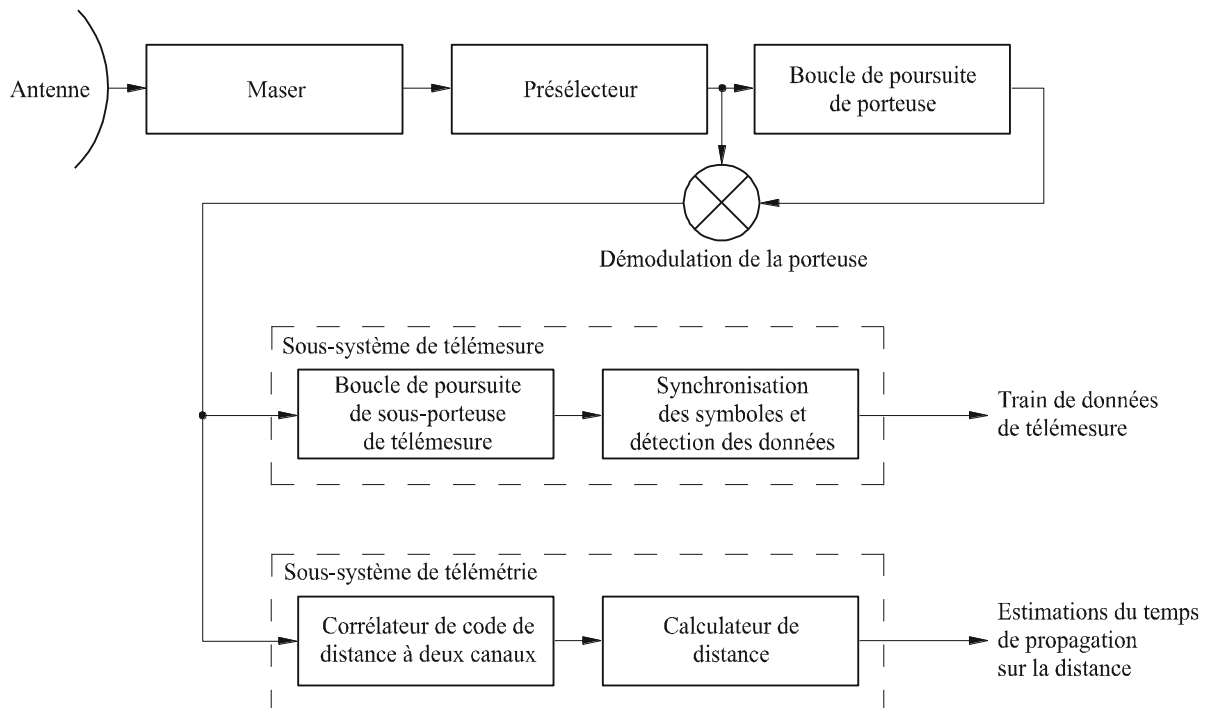
1 Introduction

La présente Annexe contient des renseignements sur la sensibilité au brouillage des systèmes de réception utilisés pour les radiocommunications associées à la recherche dans l'espace lointain. Deux catégories de brouillage sont considérées: le brouillage du type à onde entretenue et le brouillage à caractère de bruit. Les systèmes de réception particuliers qui ont été analysés sont ceux du réseau d'espace lointain DSN (*deep space network*) exploité par les Etats-Unis d'Amérique.

2 Le système de réception

Le système de réception se compose de quatre éléments principaux, qui doivent être protégés contre le brouillage: le préamplificateur maser, le circuit de poursuite de porteuse, le sous-système de réception de télémétrie et le sous-système de réception de télémétrie. La sensibilité au brouillage de chacun de ces sous-systèmes sera examinée au § 4. Un schéma de principe simplifié du système de réception est représenté sur la Fig. 1.

FIGURE 1
Schéma de principe fonctionnel simplifié pour un système de réception type du réseau d'espace lointain



3 Résultats du brouillage

Le brouillage peut entraîner une dégradation de la qualité, un fonctionnement non linéaire ou une perte de données. L'effet du brouillage dépend de sa puissance et de son écart en fréquence par rapport au signal utile.

Aux niveaux de puissance faibles à modérés, un brouillage dans le même canal peut provoquer un accroissement de l'erreur de phase statique et de la gigue de phase de la boucle de poursuite de porteuse, un accroissement du taux d'erreur binaire de télémétrie, ou une réduction du rapport signal de télémétrie/bruit. Cette dégradation de qualité peut généralement être exprimée comme une réduction équivalente du rapport signal/bruit et peut, en théorie, être compensée par une augmentation du niveau de puissance du signal utile. Dans la pratique, la puissance d'un signal utile n'est généralement pas réglable.

Un brouillage intense ayant un grand écart en fréquence par rapport au signal utile peut provoquer une dégradation de performance et simultanément entraîner un ou plusieurs éléments du récepteur dans une région non linéaire, d'où compression de gain et génération d'harmoniques, de signaux parasites et de produits d'intermodulation. Ces effets non linéaires sont désignés sous l'appellation générique d'effets de saturation. A la différence de la dégradation de qualité, les effets de saturation ne peuvent généralement pas être compensés, même si l'on accroît le niveau de puissance du signal utile.

Un brouillage intense ayant un petit écart en fréquence par rapport au signal utile peut provoquer le déverrouillage ou la désynchronisation du système de réception, avec pour conséquence une perte totale des données.

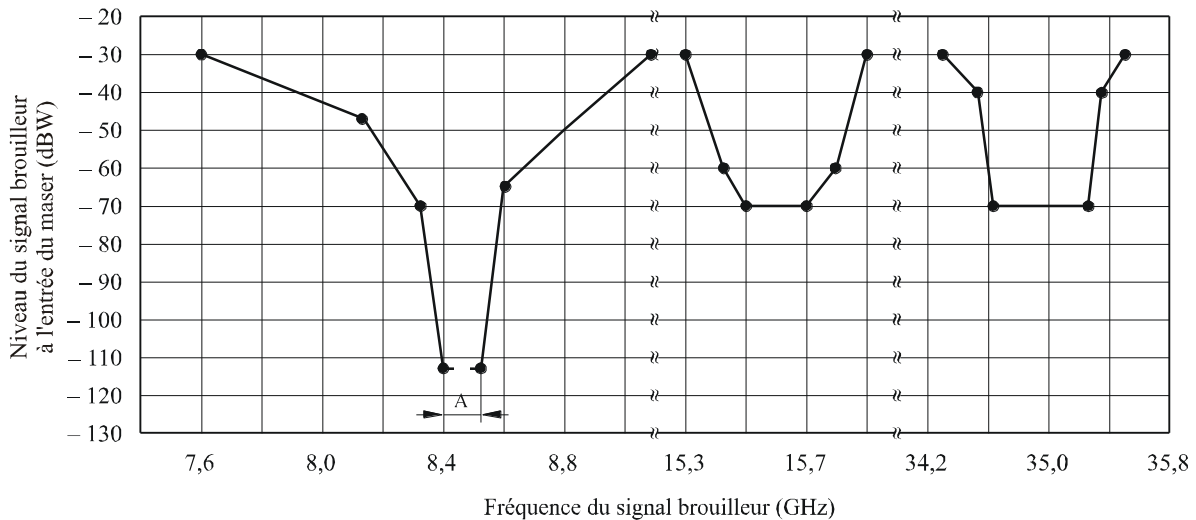
4 Effets du brouillage du type à onde entretenue

Les effets spécifiques de brouillage seront examinés dans les paragraphes pour chacun des quatre sous-systèmes de réception. Bien que le système de réception soit très sensible au brouillage dans le même canal, le brouillage par le canal adjacent et même le brouillage hors bande peuvent avoir parfois des effets préjudiciables. Un brouillage dans le même canal est un brouillage dont la fréquence est dans la bande passante de l'élément brouillé. La fréquence du brouillage est censée être fixe, sauf indication contraire.

4.1 Sensibilité au brouillage du préamplificateur maser

La principale sensibilité d'un maser au brouillage est la saturation (compression de gain) par des signaux de forte intensité. Le maser est extrêmement sensible aux brouillages ayant une fréquence dans sa (ou proche de sa) bande passante, ou des fréquences conjuguées. La puissance de brouillage qui cause une compression de gain du maser de 1 dB est représentée sur la Fig. 2 pour un maser type fonctionnant dans la bande des 8,4 GHz.

FIGURE 2
Niveau du signal nécessaire pour réduire de 1 dB le gain d'un maser
de 8,45 GHz, en fonction de la fréquence



Type de brouillage RF: onde entretenue
A: bande passante du signal du maser

1157-02

4.2 Sensibilité au brouillage RF du type à onde entretenue de la boucle de poursuite de la porteuse

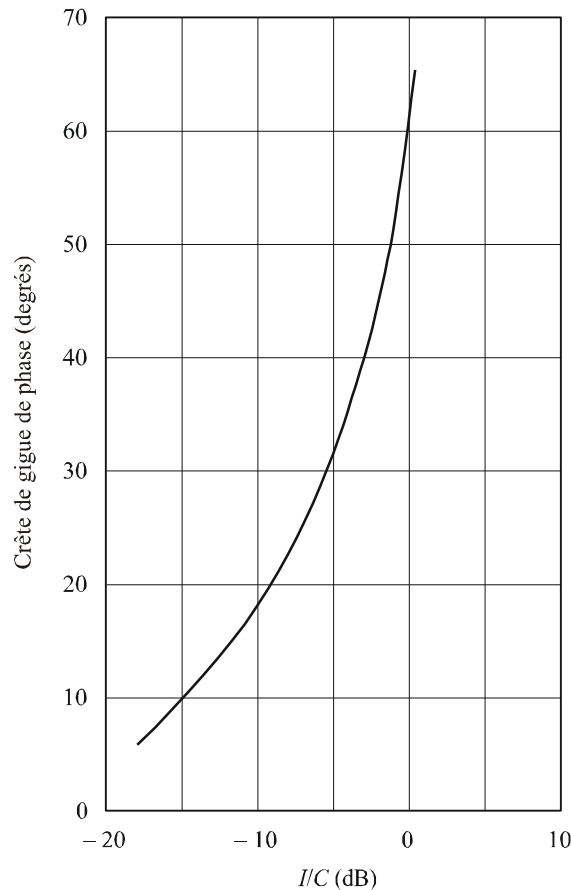
La boucle de poursuite de porteuse est une boucle de poursuite double hétérodyne qui emploie un circuit de commande automatique de gain (CAG) à détecteur synchrone et une boucle à verrouillage de phase du deuxième ordre précédée par un filtre passe-bande.

Un brouillage de forte intensité peut déverrouiller la boucle d'avec le signal utile et même la verrouiller sur le brouillage. Un brouillage du type à onde entretenue à fréquence fixe ou à balayage (fréquence variable) peut produire cet effet. Une variation de la fréquence du brouillage peut provoquer d'abord le déverrouillage de la boucle d'avec le signal utile, puis un verrouillage sur le brouillage à mesure que celui-ci se rapproche de la fréquence du signal utile. A mesure que le brouillage traverse cette fréquence et s'en éloigne, on assiste d'abord au déverrouillage de la boucle d'avec le brouillage puis, éventuellement, à son reverrouillage sur le signal utile. Le temps qu'il faut à la boucle pour se reverrouiller sur le signal utile dépend de la force du signal, de la force du brouillage et de la cadence de balayage. Cela peut prendre de quelques secondes à plusieurs minutes. Si le brouillage est fixe, le reverrouillage sur le signal utile peut être impossible.

Un brouillage plus faible peut accroître l'erreur de phase statique et la gigue de phase dans la boucle. Cela est vrai à la fois pour le brouillage fixe et pour le brouillage à balayage.

La Fig. 3 montre comment la gigue de crête varie en fonction du rapport I/C de type à onde entretenue.

FIGURE 3
Crête de gigue de phase en fonction
du rapport I/C



Type de brouillage RF: onde entretenue

1157-03

4.3 Sensibilité au brouillage RF du type à onde entretenue du sous-système de télémétrie

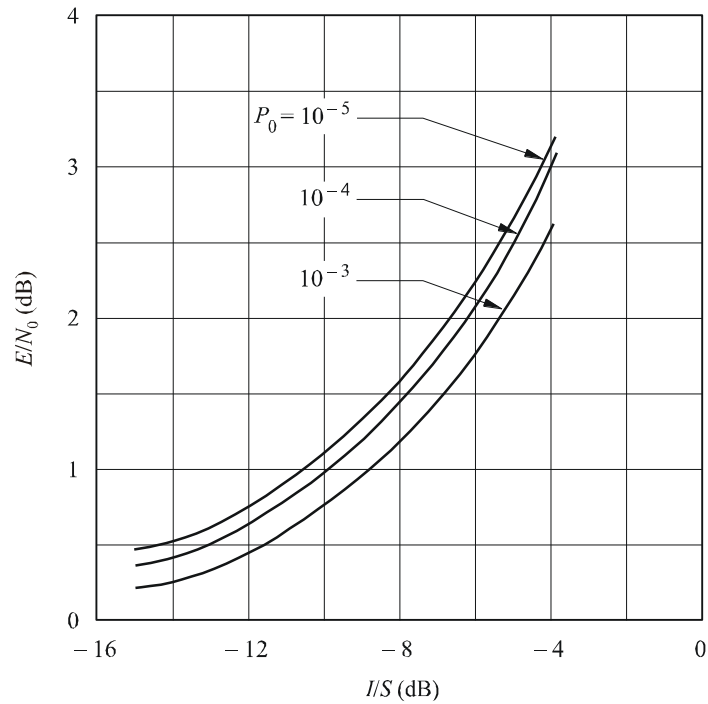
La dégradation de télémétrie peut être exprimée comme une réduction équivalente du rapport énergie par symbole/densité spectrale de bruit, $\Delta E/N_0$, dont la définition est donnée par la mesure dans laquelle ce rapport devrait être réduit en l'absence de brouillage pour obtenir le même taux d'erreur sur les symboles qu'en présence de brouillage.

La Fig. 4 montre le rapport $\Delta E/N_0$ résultant du brouillage du type à onde entretenue dans la largeur de bande de la détection de télémétrie.

La qualité de télémétrie peut aussi être dégradée si le brouillage du type à onde entretenue tombe dans la largeur de bande de la boucle de poursuite de la porteuse. La Fig. 5 montre le rapport $\Delta E/N_0$ résultant de la gigue de phase de la boucle de poursuite de la porteuse en fonction du rapport I/C , pour un décalage de fréquence de 10 Hz et pour un mode de réception type dans la bande des 8,4 GHz.

FIGURE 4

Réduction équivalente du rapport E/N_0 , par suite de brouillage dans le canal de télémesure, en fonction du rapport I/S , pour diverses valeurs de la probabilité d'erreur sur les symboles, P_0

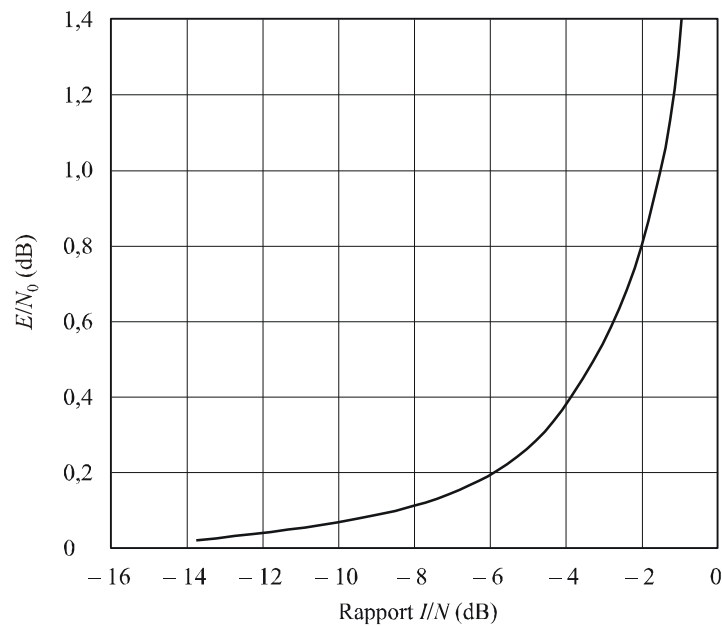


Type de brouillage RF: onde entretenue
 P_0 : probabilité d'erreur sur les symboles

1157-04

FIGURE 5

Réduction équivalente du rapport E/N_0 , résultant de l'erreur de phase et de la gigue sur le circuit porteuse, en fonction du rapport I/N



Type de brouillage RF: onde entretenue
 Bande = 8,45 GHz
 Décalage de fréquence = 10 Hz

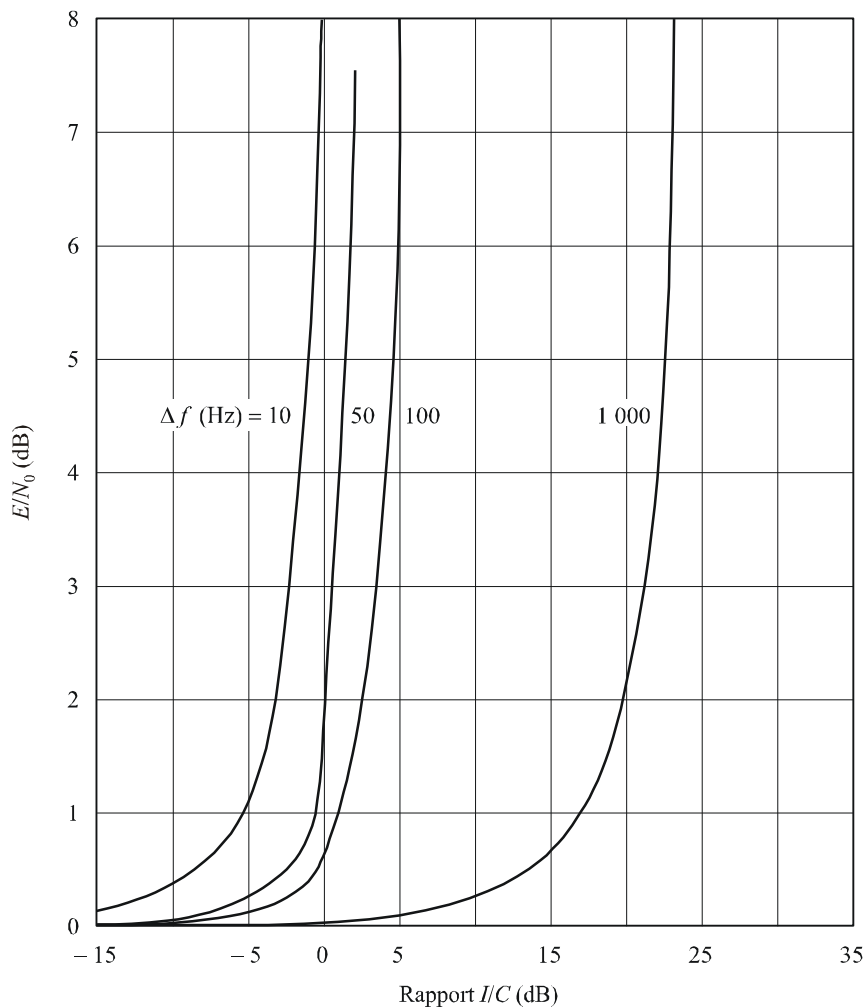
1157-05

4.4 Sensibilité au brouillage RF du type à onde entretenue du sous-système de télémétrie

Le brouillage peut dégrader la qualité de fonctionnement du sous-système de télémétrie en augmentant la variance des estimations du temps de propagation. La dégradation peut être exprimée en termes de réduction équivalente du rapport effectif signal de télémétrie/bruit.

Le brouillage du type à onde entretenue dans la largeur de bande de la boucle de poursuite de la porteuse affecte la qualité du sous-système de télémétrie, comme le montre la Fig. 6. L'effet du brouillage de ce type dans la largeur de bande du signal de télémétrie est indiqué sur la Fig. 7. I/S désigne le rapport brouillage/signal de télémétrie.

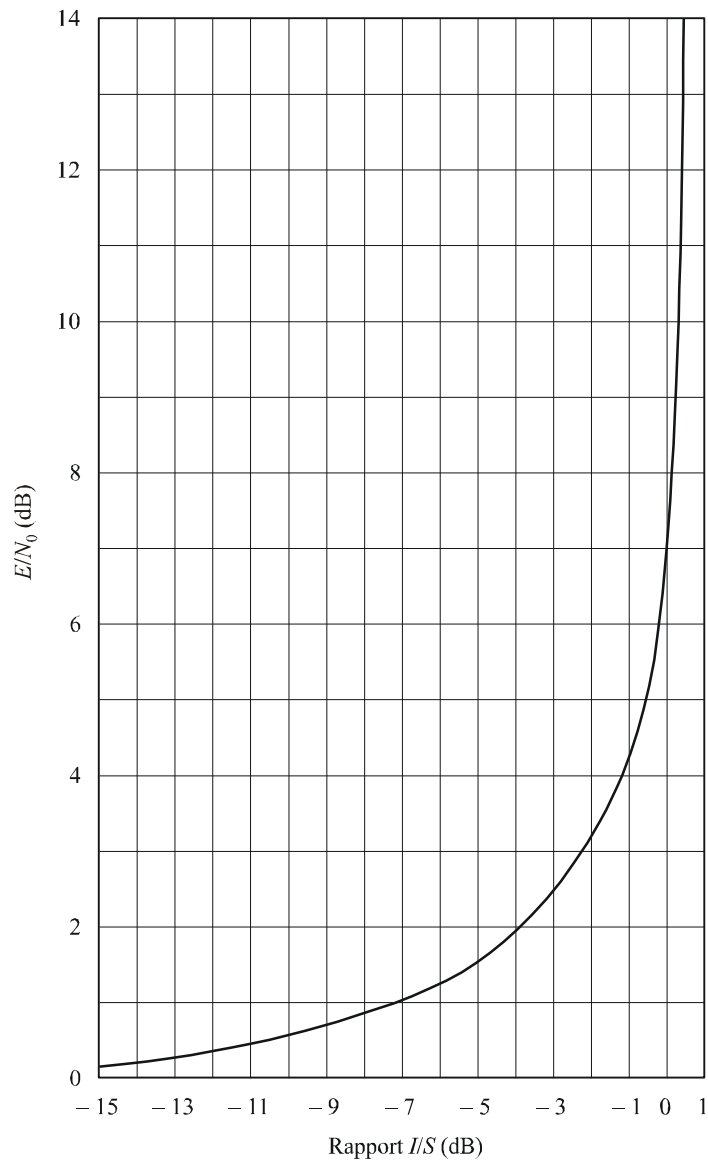
FIGURE 6
Réduction équivalente du rapport signal E/N_0 , résultant de la gigue et de l'erreur de phase, en fonction du rapport I/C , pour diverses valeurs de décalage de fréquence



Type de brouillage RF: onde entretenue
Bande = 8,45 GHz
 Δf : décalage de fréquence

1157-06

FIGURE 7
 Réduction équivalente du rapport signal E/N_0 , résultant
 du brouillage dans le canal de télémetrie, en fonction
 du rapport I/S



Type de brouillage RF: onde entretenue

1157-07

5 Effets du brouillage à caractère de bruit

Le brouillage à caractère de bruit peut saturer le préamplificateur maser et dégrader la performance de la boucle de poursuite, du sous-système de télémétrie et du sous-système de télémesure. Pour occasionner dans le maser une compression de gain de 1 dB, la densité spectrale du brouillage à caractère de bruit, I_0 , devrait être de l'ordre de -190 dB(W/Hz), en supposant que le maser ait une largeur de bande de 40 MHz.

Pour la boucle de poursuite de la porteuse, la crête de gigue de phase dépend de la marge de la porteuse (voir la Fig. 8). Le brouillage à caractère de bruit réduit la marge de la porteuse et, partant, augmente la gigue de phase. La relation entre la marge de la porteuse et le rapport I_0/N_0 est donnée par la formule:

$$CM_i = CM_0 + 10 \log (1 + I_0/N_0)^{-1}$$

où:

CM_i : marge de la porteuse (dB) en présence de brouillage

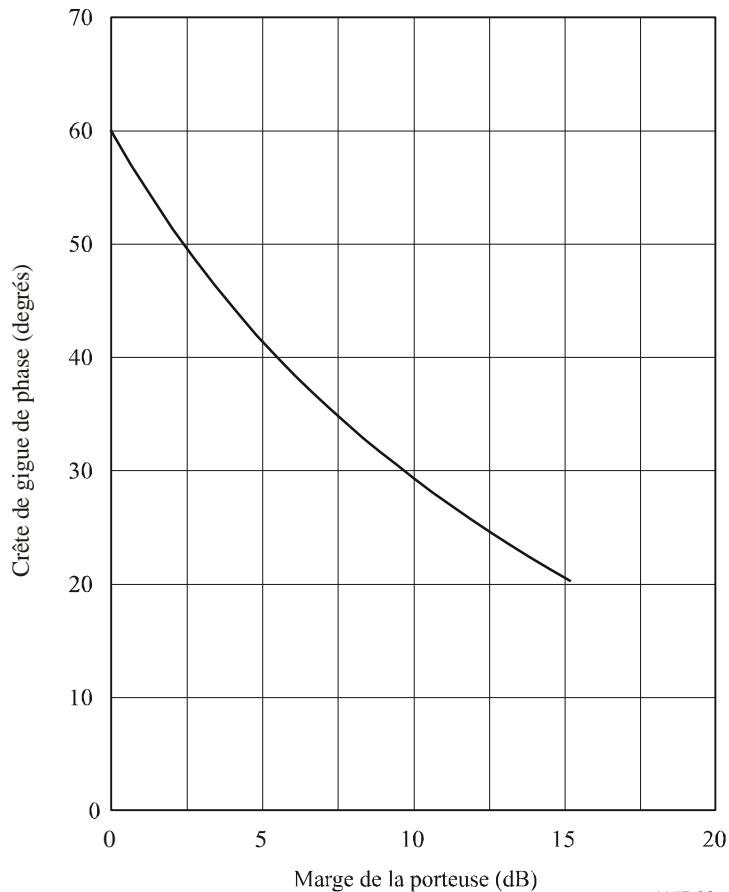
CM_0 : marge (dB) sans brouillage

I_0/N_0 : rapport densité spectrale du brouillage/densité spectrale du bruit.

Moyennant une marge donnée de la porteuse sans brouillage et une augmentation acceptable de la gigue de phase, la Fig. 8 et l'expression ci-dessus permettent de calculer le rapport I_0/N_0 . Par exemple, pour une marge type de 10 dB, une augmentation de 10° de la crête de gigue de phase sera causée par un brouillage qui réduit cette marge à 5,5 dB. En pareil cas, la valeur du rapport I_0/N_0 est de 2,6 dB.

FIGURE 8

Crête de gigue de phase en fonction de la marge de la porteuse



Le brouillage à caractère de bruit a pour effet, s'agissant des sous-systèmes de télémétrie et de télégraphie, de réduire le rapport effectif énergie par E/N_0 et d'augmenter ainsi le taux d'erreur de télémétrie et la variance des estimations de temps de propagation.

La réduction du rapport équivalent énergie par $\Delta E/N_0$ peut s'exprimer par la formule:

$$\Delta E/N_0 = 10 \log (1 + I_0/N_0) \quad \text{dB}$$

où I_0/N_0 est le rapport densité spectrale de bruit du brouillage/densité spectrale de bruit du récepteur. Si l'on connaît la réduction acceptable du rapport E/N_0 , on peut calculer le rapport I_0/N_0 correspondant.
