

RECOMMANDATION UIT-R SM.1681-0*

**Mesure des émissions de faible niveau en provenance de stations spatiales
par des stations terriennes de contrôle utilisant des techniques
de réduction du bruit**

(2004)

Domaine d'application

Pour protéger les services passifs, et en particulier le service de radioastronomie (SRA), contre les brouillages, il est très important que les stations terriennes de contrôle puissent mesurer les émissions de faible niveau provenant des stations spatiales, en recourant à des techniques de réduction du bruit de fond. Outre les conditions générales applicables au contrôle des émissions, la présente Recommandation définit le concept de réduction du bruit de fond à l'aide du traitement numérique du signal.

Mots clés

Émissions de faible niveau, stations spatiales, techniques de réduction du bruit

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'il est nécessaire de protéger le service de radioastronomie (SRA) contre les brouillages;
- b) que les rayonnements des objets de l'univers observés sur certaines fréquences par le SRA parviennent en principe à la surface de la Terre avec de faibles niveaux de puissance surfacique.
- c) que pour ces observations on a mis au point des techniques de réception suffisamment sensibles pour identifier des signaux de niveaux bien inférieurs au bruit de fond;
- d) que l'une des tâches des stations terriennes de contrôle consiste à mesurer les niveaux des émissions non désirées provenant des stations spatiales, comme spécifié dans le Règlement des radiocommunications;
- e) qu'il peut être nécessaire d'échanger les résultats des mesures avec d'autres parties intéressées,

recommande

- 1** que les stations terriennes de contrôle mesurent les émissions non désirées de satellite compte tenu:
 - 1.1** des conditions générales applicables au contrôle des émissions, décrites dans l'Annexe 1;
 - 1.2** du concept de réduction du bruit de fond par traitement numérique du signal, décrit dans l'Annexe 2;
- 2** de présenter les résultats comme indiqué dans l'Annexe 3.

* La Commission d'études 1 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2018 et en 2019 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 1.

Annexe 1

Conditions générales applicables au contrôle des émissions

1 Introduction

Pour mesurer les émissions hors bande et les rayonnements non essentiels de faible niveau en vue de protéger le SRA, les exploitants des installations de contrôle des émissions spatiales doivent tenir compte des conditions générales suivantes.

2 Conditions préalables

- 2.1 Avoir connaissance des niveaux de puissance surfacique du SRA à protéger.
- 2.2 Disposer d'une capacité technique permettant d'assurer le contrôle des émissions de faible niveau.
- 2.3 Connaître l'ordre de grandeur de la réduction du bruit de fond par rapport aux critères normaux de contrôle des émissions spatiales pour le contrôle de communications spatiales des services fixe et de radiodiffusion.

3 Paramètres à contrôler

- 3.1 Pour le contrôle normal des émissions spatiales, indiquer les valeurs des paramètres permettant de caractériser les sources d'émission, à savoir: fréquence, position orbitale, éléments, temps, densité de puissance, polarisation, largeur de bande, modulation, caractéristiques spectrales, méthode d'accès et transmission par rafales/onde entretenue.
- 3.2 La densité de puissance des émissions doit être enregistrée en tant que puissance surfacique et puissance surfacique spectrale.

4 Procédure de contrôle des émissions (voir aussi le Manuel de l'UIT-R – Contrôle du spectre)

- 4.1 Acquisition de la source brouilleuse.
- 4.2 Mesure de la fréquence.
- 4.3 Détermination de la polarisation.
- 4.4 Mesure de la largeur de bande.
- 4.5 Mesure de la puissance surfacique à l'aide de la méthode de réduction du bruit décrite dans l'Annexe 2.

5 Confirmation des résultats des mesures

Chaque fois que cela est possible, les résultats doivent être confirmés par une autre station terrienne de contrôle des émissions figurant dans la Nomenclature des stations de contrôle international des émissions de l'UIT.

Annexe 2

Concept de réduction du bruit de fond par traitement numérique du signal

1 Introduction

Pour la protection du SRA, on a spécifié des limites de puissance surfacique inférieures au niveau du bruit de fond des installations de contrôle habituelles. Il existe différentes méthodes de réduction du bruit de fond, notamment le traitement numérique du signal décrit dans la présente Annexe.

2 Principe technique

Le signal RF à examiner est reçu par une antenne directive, puis ramené par conversion au niveau de la FI. Le signal FI analogique est converti en échantillons numériques. Ce signal numérisé est ensuite converti en bande de base numérique. On lui applique alors la transformée de Fourier rapide (TFR) qui le fait passer du domaine temps au domaine fréquence. En général, cette mesure est répétée 10 000 fois en vue d'enregistrer 10 000 spectres.

On répète toute la procédure pour enregistrer des signaux de comparaison. Pour les satellites non géostationnaires, les mesures sont faites le long de la trajectoire du satellite en son absence. Pour les satellites géostationnaires, l'antenne de contrôle des émissions doit s'écarter légèrement de la position orbitale. Dans les deux cas, les signaux de comparaison sont enregistrés dans le même environnement, y compris le bruit de la station proprement dite, mais sans le satellite utile. Les 10 000 spectres enregistrés pour la comparaison contiennent le bruit mais pas les signaux émis par le satellite.

A ce stade, on peut effectuer un traitement supplémentaire pour éliminer, s'il y a lieu, l'effet Doppler.

Ensuite, on calcule les moyennes du spectre des signaux utiles et du spectre des signaux de comparaison et on soustrait de ces moyennes les valeurs linéaires. On obtient un spectre de la puissance surfacique de l'émission du satellite concerné, dans lequel le bruit est généralement abaissé de 10 à 20 dB.

Cette méthode utilise le fait que le signal utile contribue à l'allure de chacun des très nombreux spectres, alors que le bruit s'annule en raison de ses propriétés statistiques.

On soustrait les spectres de comparaison des spectres du satellite pour éliminer aussi les sources de brouillage enregistrées avec le bruit dans les deux séries de spectres.

Une méthode de corrélation vraie permettrait d'améliorer encore la réduction du niveau du bruit.

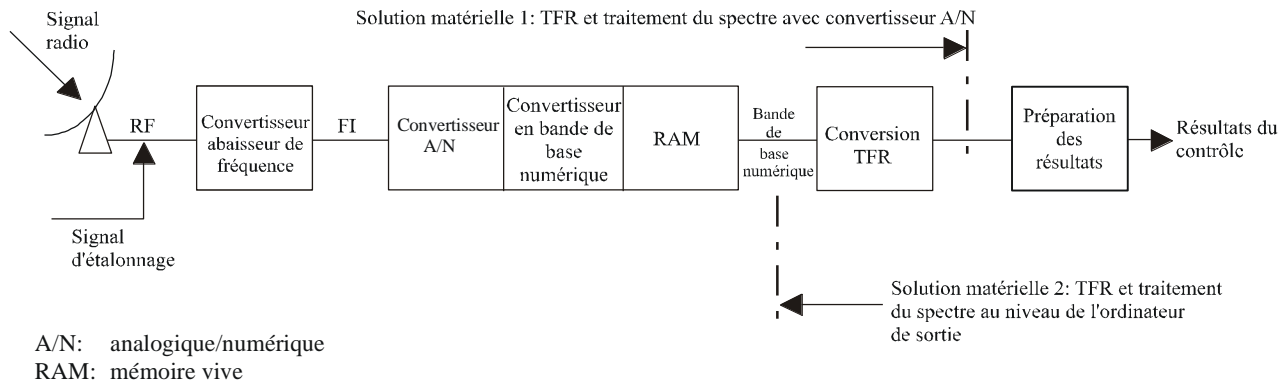
3 Matériel et logiciel

Le diagramme synoptique d'une installation de contrôle des émissions dont le niveau est inférieur au bruit de fond est présenté à la Fig. 1.

3.1 Matériel

FIGURE 1

Diagramme synoptique d'une installation de contrôle des émissions dont le niveau est inférieur au bruit de fond



1681-01

La différence entre les deux solutions matérielles présentées sur la Fig. 1 tient à la séparation des équipements. En effet, dans la solution 1, les différentes implantations sont connectées après la conversion TFR, alors que dans la solution 2, elles sont connectées avant. Le type de connexion entre les implantations peut donc être un critère pour choisir l'une ou l'autre solution. On peut retenir d'autres critères: disponibilité des équipements sur le marché ou bande de fréquences maximale à contrôler.

3.2 Logiciel

Le logiciel dépend en grande partie de la solution matérielle choisie, comme le montre l'exemple suivant:

Supposons que nous utilisons un convertisseur A/N avec une FI de 70 MHz, un taux d'échantillonnage de 95 Méchantillons/s et une décimation mi-bande, on obtiendrait, sans décimation, une largeur de bande de:

$$0,4 \times 95 \text{ M échantillons/s} = 38 \text{ MHz}$$

Avec décimation par 4, on obtient un taux d'échantillonnage de $95/4 = 23,75$ Méchantillons/s et une largeur de bande de $38/4 = 9,5$ MHz.

ce qui donne, avec un échantillonnage d'un signal d'entrée pendant 10 min:

$$10 \times 60 \times 23,75 = 14\,250 \text{ Méchantillons}$$

L'utilisation d'une TFR de 16 384 points permet d'obtenir 869 750 spectres distincts qui peuvent s'ajouter pour calculer la moyenne.

Dans cet exemple, on suppose que la capacité de la mémoire vive est suffisante pour stocker le grand volume de données échantillonnées ou que le traitement du signal est suffisamment rapide pour travailler en temps réel. Si cette capacité n'est pas suffisante ou si le traitement rapide n'est pas possible, l'intervalle de 10 min peut être numérisé en plusieurs paquets de données et de pauses.

4 Stratégie de contrôle des émissions

Normalement, le signal brouilleur est une émission brouilleuse produite sur une fréquence assignée. Il est donc indispensable de connaître les propriétés de cette émission.

La stratégie de contrôle des émissions dépend en grande partie des détails techniques associés aux tâches à exécuter.

Pour obtenir les résultats voulus, il faut observer les critères suivants:

Avant chaque campagne de contrôle des émissions, il faut étalonner le système de mesure. L'étalonnage porte sur:

- la RF;
- le gain du système; et
- la réponse en fréquence du système.

Pour cela, on utilise un signal de porteuse, une source de bruit et, éventuellement, une source radioastronomique, en veillant à ce que les amplitudes soient adaptées.

Il est nécessaire de choisir les paramètres appropriés:

- la dynamique: il faut éviter toute distorsion; il peut être approprié d'utiliser un filtre sur les liaisons RF ou FI pour supprimer les signaux proches intenses;
- les heures de début et de fin du contrôle des émissions;
- la plage de valeurs à afficher;
- la résolution en fréquence;
- le nombre de spectres moyennés;
- l'élimination de l'effet Doppler;
- le chronogramme de la transmission en rafales, dans le cas, par exemple, des transmissions AMRT.

Ces paramètres doivent pouvoir être ajustés par logiciel.

Dans le cas d'un satellite non géostationnaire, il faut choisir des trajectoires orbitales qui ne soient pas trop affectées par le soleil, l'orbite des satellites géostationnaires (OSG) ou les trajectoires d'autres satellites.

D'autres mesures peuvent être envisagées en vue d'améliorer la sensibilité, à savoir:

- enregistrement des spectres utilisés pour la comparaison avec la même élévation pour des raisons de bruit atmosphérique;
- contrôle des émissions, la nuit, pour éviter le brouillage solaire;
- utilisation d'intervalles de temps plus courts entre l'enregistrement des spectres brouilleurs et des spectres servant aux comparaisons en vue de réduire le bruit;
- dans le cas des transmissions AMRT, enregistrement des spectres utilisés pour les comparaisons pendant les intervalles entre les rafales.

Annexe 3

Présentation des résultats

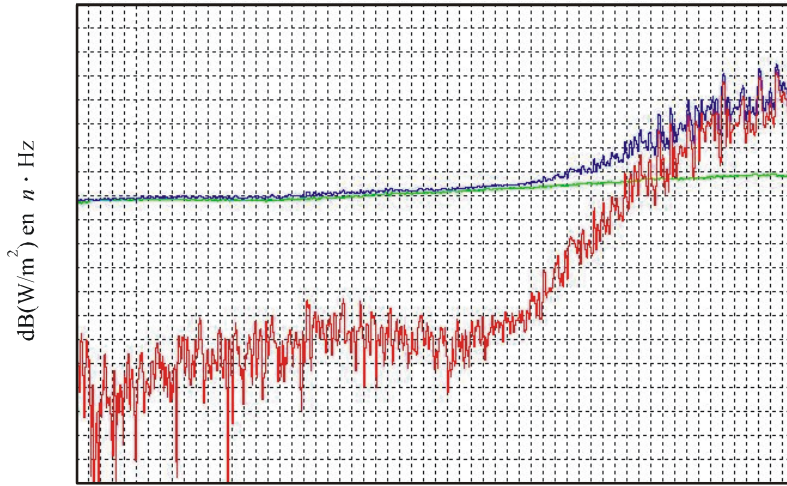
Contrôle des émissions brouilleuses en provenance de stations spatiales, en vue de protéger le SRA			
Station de contrôle des émissions	{ nom }	Administration	{ nom }
Position (latitude – longitude – système de projection)	{ coordonnées }	Nom de la personne responsable des mesures	{ nom }
Date des mesures (UTC)	{ jour/mois/année }	Contacts (téléphone, télécopie, e-mail)	tél: ... / télécopie: ... / e-mail: ...@... }
Caractéristique de qualité de la station	{ facteur de qualité de la station terrienne de contrôle des émissions }	Références	

Résultats des mesures (et incertitudes associées)		
pdf _{RBW} (dB(W/m ²) en ... kHz ou MHz)	{ valeur }	Incertitude de mesure élargie – exemple: 2 ou 3 dB
Fréquence (MHz)	{ valeur }	Incertitude de mesure élargie – exemple: 10 ⁻⁷
Position orbitale des sources brouilleuses ou autres éléments Satellite OSG (azimuth (°) et élévation (°)/longitude (° Ouest/Est)) Satellite non OSG (azimuth (°) et élévation (°), au début, pour une élévation maximale et à la fin)	{ valeurs }	Incertitude de mesure élargie – exemple: ...°
Polarisation	{ type }	Non applicable
Autres indications (par exemple: A/N Estimation du type de modulation Méthode d'accès Comportement du signal)		

Spectres

Trois tracés de spectres sont recommandés: signal utile – bruit – {signal + bruit inversé}

FIGURE 2
Spectres



Fréquence

1681-02

Données à fournir:

Fréquence centrale = { ... } MHz

Plage de valeurs = { ... } MHz

TFR: { nombre de } points

Résolution: { ... } kHz

Moyenne: { nombre d' } échantillons

Temps (UTC)

de début et de fin du signal utile

de début et de fin du signal de comparaison

intervalles entre le signal utile et le signal de comparaison:

mode de compensation Doppler:

Observations

Identité supposée des satellites

Glossaire

A/N:	analogique/numérique
AMRT:	accès multiple par répartition dans le temps
FI:	fréquence intermédiaire
O/E:	ouest/est
OSG:	orbite des satellites géostationnaires
pdf:	puissance surfacique
RAM:	mémoire vive
RF:	fréquence radioélectrique
SRA:	service de radioastronomie
TFR:	transformée de Fourier rapide
UTC:	temps universel coordonné .
