

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Rapport UIT-R SM.2454-0
(06/2019)

Techniques de contrôle des émissions dans les bandes de fréquences du service de radionavigation par satellite

Série SM
Gestion du spectre



Union
internationale des
télécommunications

Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en œuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Rapports UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REP/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre

Note: Ce Rapport UIT-R a été approuvé en anglais par la Commission d'études aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2020

© UIT 2020

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT

RAPPORT UIT-R SM.2454-0

Techniques de contrôle des émissions dans les bandes de fréquences du service de radionavigation par satellite

(2019)

Aperçu général

Les systèmes de navigation par satellite sont employés par des centaines de millions de personnes dans le monde. Le service de radionavigation par satellite (SRNS) est la composante centrale de nombreuses applications servant par exemple à la navigation et à la signalisation horaire. Les pouvoirs publics, le secteur privé et les particuliers emploient ces services au quotidien mais aussi dans des situations où la sécurité est en jeu. Pour que ces services puissent fonctionner, leurs signaux doivent être extrêmement fiables, disponibles et précis.

Il existe différents systèmes de radionavigation (espace vers Terre). Ils sont conçus pour couvrir soit l'ensemble de la planète (GNSS, système mondial de navigation par satellite), soit une région particulière. Ils ont tous en commun le fait d'être vulnérables aux brouillages des fréquences radioélectriques (RFI) car la puissance de leurs signaux reçus sur Terre est très faible par rapport à celle des signaux émis depuis la Terre. Il faut donc prendre des mesures pour bien séparer les signaux du bruit dans le récepteur. D'autre part, des brouillages ou un bruit excessif peuvent entraîner une perte de signaux sur une vaste région. Ces brouillages peuvent provenir d'émetteurs fonctionnant dans les bandes attribuées au SRNS ou dans des bandes adjacentes ou voisines.

Les opérateurs de systèmes de navigation par satellite s'inquiètent des brouillages dont souffre la réception des signaux du SRNS et de l'emploi de brouilleurs illégaux. Le Comité international sur les systèmes mondiaux de navigation par satellite (ICG) a établi un groupe spécial sur la détection et l'atténuation des brouillages (IDM) chargé d'élaborer une stratégie à l'appui des mécanismes de détection et d'atténuation des sources de brouillage électromagnétique. Dans leurs rapports, certains membres de ce groupe spécial provenant de l'Union européenne, de la Chine, des États-Unis d'Amérique et de la Russie ont exprimé leur préoccupation vis-à-vis des problèmes de brouillage en citant à titre d'exemple différents effets néfastes.

Ces membres s'inquiètent tout particulièrement de la disponibilité sur le marché et de l'usage croissants de brouilleurs illégaux du GNSS, qui provoquent des échecs de réception. Ces brouilleurs sont en vente libre sur l'Internet et sont faciles à utiliser. En raison de la faiblesse des signaux du SRNS parvenant sur Terre, la zone touchée par un brouilleur de puissance relativement faible peut être très étendue.

On trouvera dans le présent Rapport une description de certaines techniques de contrôle des émissions dans les bandes de fréquences du SRNS qui sont indépendantes du fonctionnement des systèmes SRNS eux-mêmes. Ce contrôle doit permettre d'évaluer les conditions de réception des signaux du SRNS. Les techniques présentées ci-après peuvent servir à contrôler les signaux désirés et à détecter et localiser des brouilleurs; elles peuvent aussi faciliter des études sur les effets liés à la propagation.

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1	Méthode de contrôle des émissions dans les bandes de fréquences du SRNS 4
1.1	Description générale 4
1.2	Analyser les informations sur les stations de radiocommunication émettrices voisines 4
1.3	Effectuer des mesures, enregistrer des émissions et calculer des valeurs caractéristiques 4
1.4	Construire des diagrammes de distribution spatiale des émissions et des angles d'arrivée de la puissance des émissions 7
1.5	Analyse des résultats..... 9
2	Exigences des équipements de contrôle 9
2.1	Exigences générales..... 9
2.2	Exigences concernant les équipements de mesure 10
3	Exemple pratique de contrôle dans les bandes du SRNS 11
3.1	Équipement de mesure employé pour contrôler la bande de fréquences de GLONASS 11
3.2	Point de mesure..... 11
3.3	Analyse des assignations de fréquences 11
3.4	Relèvement des mesures, enregistrement des émissions et calcul des valeurs caractéristiques 11
3.5	Construction des diagrammes et analyse des résultats 14

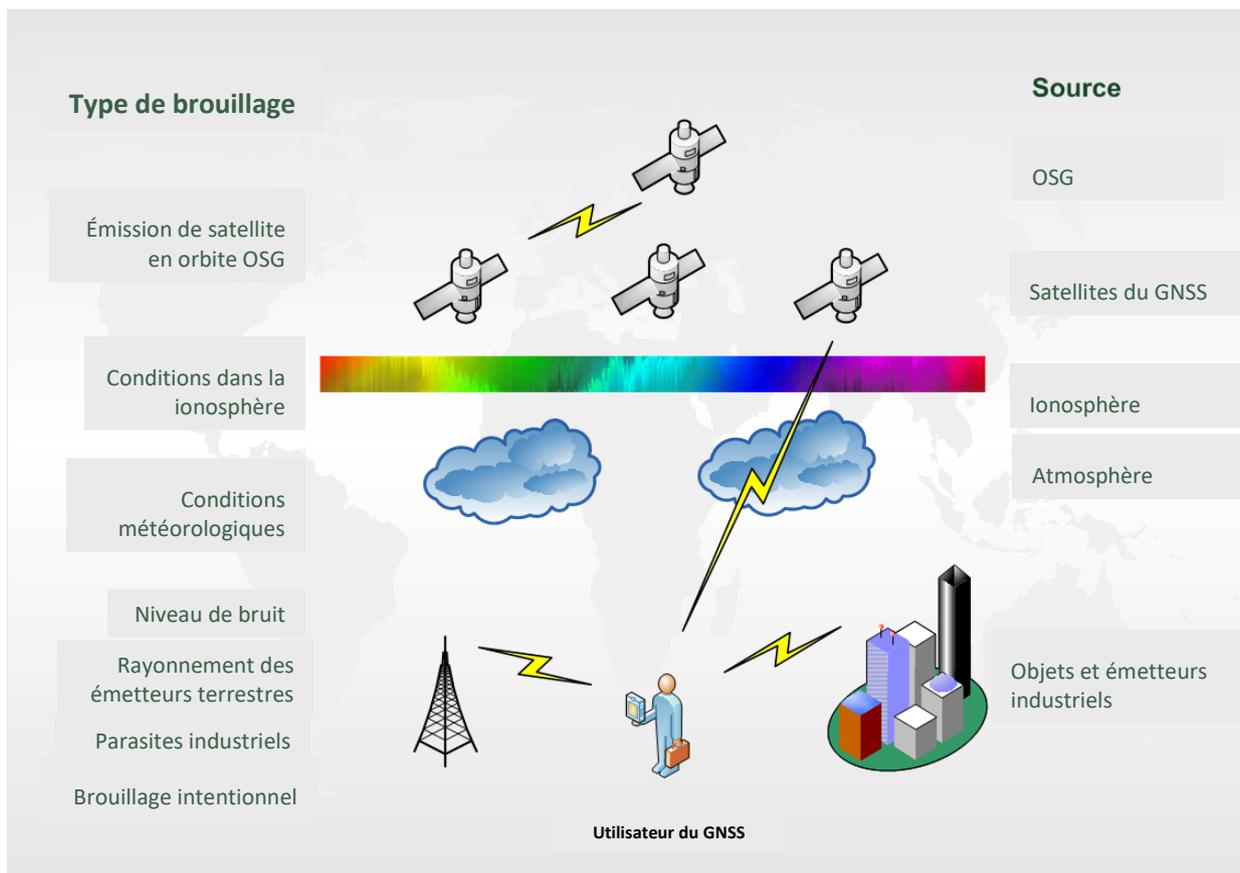
Introduction

Le présent Rapport contient une description de certaines méthodes de contrôle des émissions dans les bandes de fréquences utilisées par le service de radionavigation par satellite (SRNS).

Les récepteurs de services de radionavigation (par exemple les systèmes mondiaux de navigation par satellite) fonctionnent à des niveaux de puissance très faibles, ce qui les rend très vulnérables aux brouillages et au bruit. Ceux-ci réduisent la précision du rythme des équipements et conduisent à terme le dispositif à fournir des informations de position inexactes. Comme ces récepteurs sont abondamment utilisés, par exemple pour la radionavigation aéronautique ou pour fournir la fréquence de référence des émetteurs radio, le brouillage de ces bandes peut avoir de graves conséquences. Le contrôle des émissions peut contribuer à protéger les émissions du SRNS en détectant des émissions terrestres non désirées qui risquent de brouiller les signaux du SRNS. Les sources potentielles de ces émissions dans les bandes de fréquences concernées sont illustrées dans la Fig. 1.

FIGURE 1

Sources potentielles d'émissions et de brouillages perturbant les signaux du SRNS



Les techniques décrites dans le présent Rapport conviennent parfaitement pour les faibles niveaux de signal typiques des services de navigation par satellite. Par ailleurs, certaines méthodes sont proposées pour simplifier la visualisation des données de contrôle complexes, ce qui facilite l'évaluation des points de mesure lorsque ceux-ci sont nombreux. Il devient ainsi possible de contrôler une bande de fréquences entière du SRNS au lieu d'une seule émission.

Les résultats des mesures permettent de tirer des conclusions sur le niveau de bruit de fond électromagnétique et sur la présence d'émissions potentiellement préjudiciables dans la bande de fréquence concernée et à l'emplacement précis des mesures.

Le présent Rapport contient une description générale de la méthode ainsi qu'un exemple pratique.

1 Méthode de contrôle des émissions dans les bandes de fréquences du SRNS

1.1 Description générale

La méthode décrite ci-après permet de contrôler le spectre de fréquences, de déterminer les conditions d'exploitation des systèmes et de détecter des sources de brouillage à l'emplacement précis des mesures. Elle est fondée sur le fait que le niveau de réception des signaux du SRNS sur Terre est en général très bas. C'est pourquoi on effectue des mesures visant à détecter des signaux de niveau plus élevé ou des niveaux de bruit importants susceptibles de créer des brouillages. Ces mesures ne produisent pas uniquement un seul spectre; elles indiquent aussi la direction en azimut et (éventuellement) en élévation des émissions détectées. Elles génèrent donc un très gros volume de données. Cependant, certaines techniques parviennent à ramener ces données à quelques nombres, ce qui permet de classer rapidement les résultats d'un contrôle lorsqu'il faut examiner de nombreuses mesures.

Cette méthode repose sur l'emploi d'une antenne directive. Dans certains cas, une antenne équidirective peut aussi être utilisée pour compléter l'équipement de contrôle et fournir des données supplémentaires. Le système de réception des mesures est généralement commandé par un ordinateur pour réduire le temps nécessaire au recueil des données. Au cours du processus de mesure, l'antenne directive sert à évaluer les émissions sous plusieurs angles d'azimut.

La méthode se compose des grandes étapes suivantes:

- Se renseigner sur les stations de radiocommunication émettrices situées au voisinage du lieu de mesure, si possible;
- Effectuer des mesures, enregistrer des émissions et calculer des valeurs caractéristiques;
- Construire des diagrammes à partir des résultats de ces mesures;
- Analyser les résultats.

Ces étapes sont détaillées dans les paragraphes suivants.

1.2 Analyser les informations sur les stations de radiocommunication émettrices voisines

Dans la mesure du possible, il convient de se renseigner sur les stations de radiocommunication émettrices situées au voisinage du lieu de mesure. L'analyse de ces renseignements pourrait aider l'équipe chargée des mesures à déterminer si elle doit s'attendre à des émissions en provenance d'une direction donnée.

1.3 Effectuer des mesures, enregistrer des émissions et calculer des valeurs caractéristiques

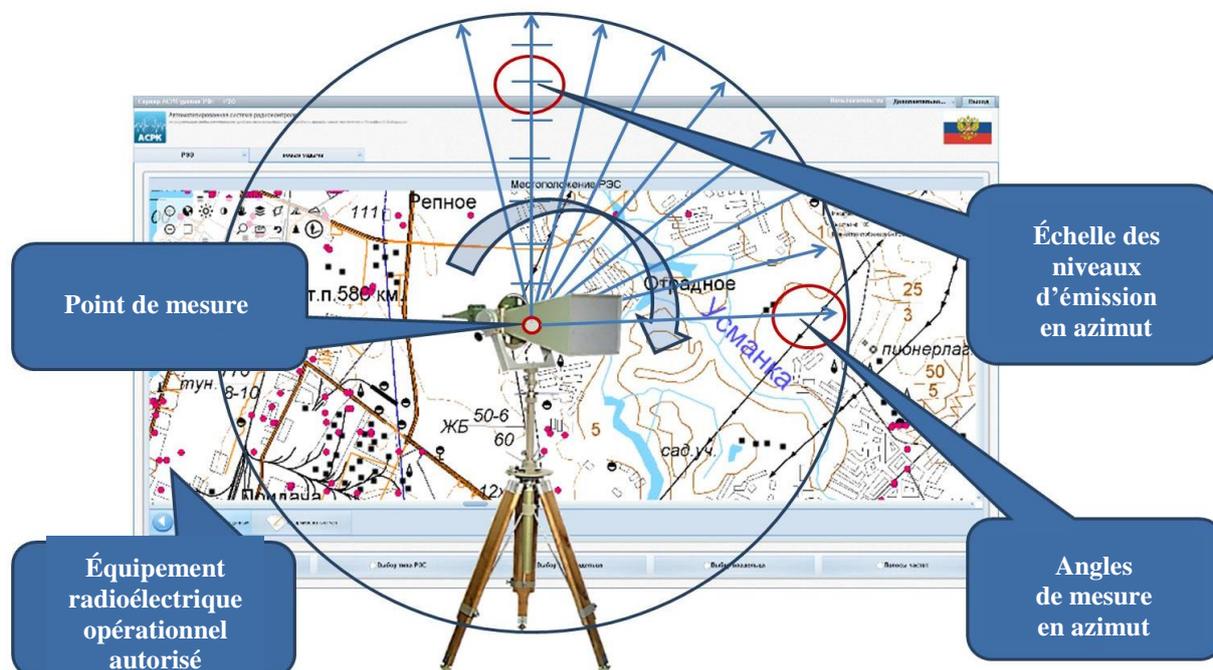
Les mesures devraient être effectuées au moyen d'une antenne directive montée de la manière illustrée dans la Fig. 2. Outre cette antenne directive, on peut aussi employer une antenne équidirective pour vérifier par comparaison les résultats des mesures d'émissions.

Sur le site de mesure, les émissions sont contrôlées dans la bande de fréquences choisie en faisant faire à l'antenne directive un tour complet en plusieurs pas (voir Fig. 2). A chaque pas, les émissions sont enregistrées en vue d'un traitement ultérieur. Les coordonnées du lieu de mesure, les émissions reçues par l'antenne, l'heure de la mesure et les angles d'azimut et d'élévation de l'antenne directive doivent être consignés.

Au cours de ce processus de balayage, la résolution angulaire dépend de la résolution spatiale désirée et elle est limitée par l'ouverture angulaire de l'antenne. On choisit généralement une résolution angulaire de 15 degrés.

FIGURE 2

Balayage spatial par une antenne directive pour mesurer des émissions et construire des diagrammes de distribution spatiale des émissions



Les résultats des mesures peuvent être documentés de la manière illustrée dans le tableau 1.

Une fois toutes les mesures achevées, chaque émission est caractérisée par trois paramètres (puissance moyenne, puissance de crête et puissance de bruit) de la manière indiquée dans les paragraphes suivants.

1.3.1 Calcul de la puissance de bruit

La puissance de bruit dans l'ensemble de la bande de fréquences contrôlée est mesurée selon les méthodes indiquées dans la Recommandation UIT-R SM.1753 pour chaque émission enregistrée.

Aux fins du calcul, les échantillons de puissance d'émission sont triés par ordre croissant. On ne retient ensuite que la première tranche de 20% des échantillons au-dessus du niveau de puissance minimum pour l'enregistrement considéré, et on emploie ces valeurs pour calculer le niveau de bruit moyen:

$$P_n = 10 \log \left(\frac{1}{C} \sum_{i=1}^C 10^{\frac{P_i}{10}} \right) \quad (1)$$

où:

- P_n : niveau de puissance de bruit moyen, en dBm
- C : nombre d'éléments dans la première tranche de 20% des échantillons
- P_i : valeur du i ème échantillon, en dBm.

1.3.2 Calcul de la puissance de crête

La puissance de crête dans l'ensemble de la bande de fréquences contrôlée est calculée pour chaque émission enregistrée en prenant la valeur maximale des échantillons d'émission de puissance ou en utilisant des fonctions pertinentes de marqueur de l'analyseur de spectre ou du récepteur:

$$P_{peak} = \text{MAX}(P_i), i=1, \dots, N \quad (2)$$

où:

- P_{peak} : puissance de crête de l'émission, en dBm
- P_i : valeur du i ème échantillon, en dBm
- N : nombre total d'échantillons enregistrés.

1.3.3 Calcul de la puissance moyenne

La puissance moyenne dans l'ensemble de la bande de fréquences contrôlée est calculée pour chaque émission enregistrée en effectuant la moyenne de tous les échantillons d'émission de puissance:

$$P_{mean} = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{P_i}{10}} \right) \quad (3)$$

où:

- P_{mean} : puissance moyenne de l'émission, en dBm
- N : nombre d'échantillons de l'émission
- P_i : puissance du i ème échantillon de l'émission mesurée, en dBm.

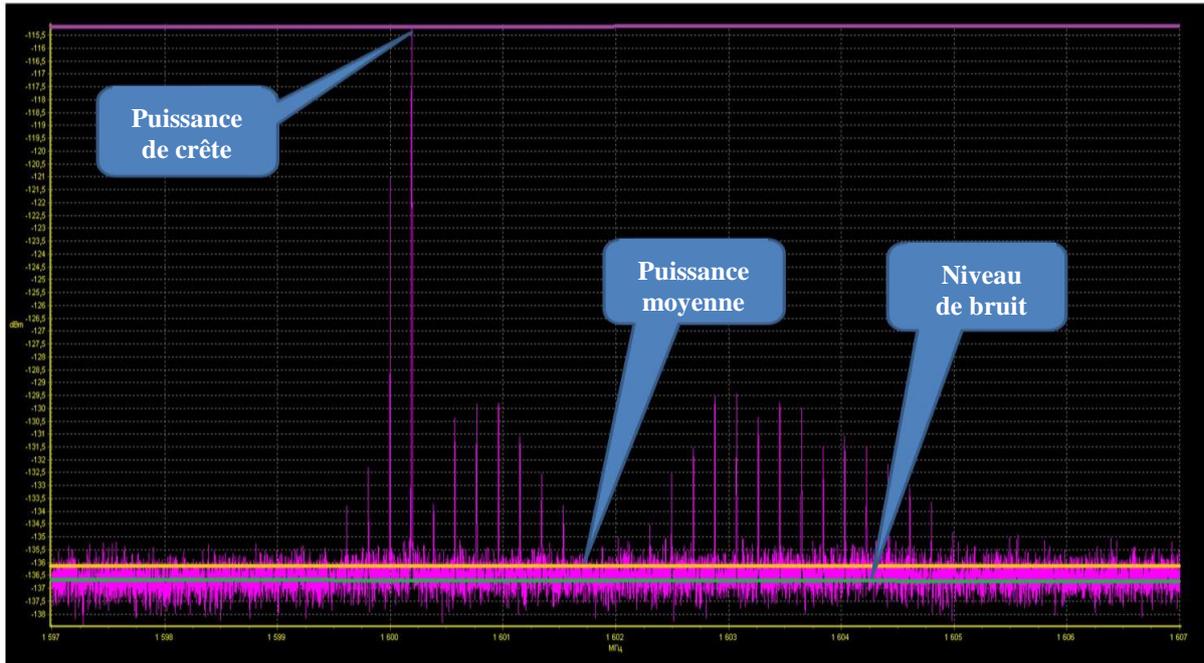
La Figure 3 illustre le calcul des caractéristiques complètes d'émissions agrégées dans la bande de fréquences contrôlée, établies à partir du jeu d'échantillons de puissance des émissions.

1.4 Construire des diagrammes de distribution spatiale des émissions et des angles d'arrivée de la puissance des émissions

Pour chaque émission enregistrée, un diagramme est établi pour présenter ensemble l'émission, le niveau de bruit, la puissance de crête et la puissance moyenne tels que calculés selon la méthode décrite plus haut et illustrée dans la Fig. 3.

FIGURE 3

Calcul des caractéristiques complètes d'émissions agrégées dans la bande de fréquences contrôlée

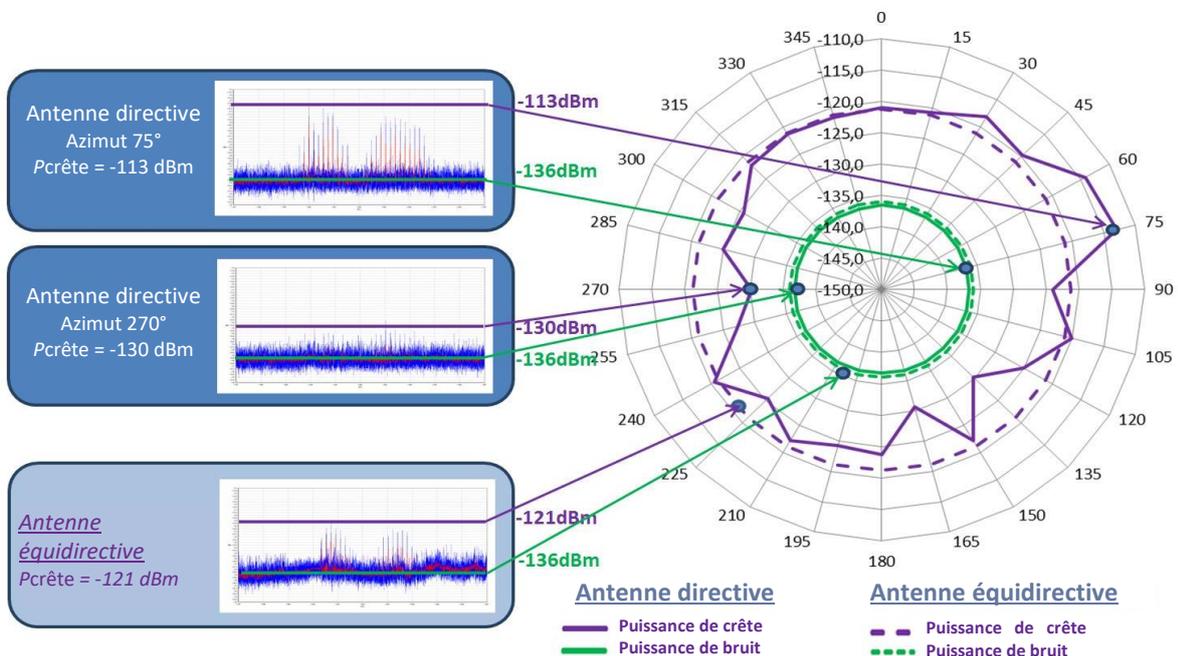


En utilisant les trois valeurs agrégées présentées aux §§ 1.3.1 à 1.3.3 et fournies par l'antenne directive ainsi que par l'antenne équidirective supplémentaire, on construit un diagramme circulaire pour représenter le résultat du balayage en azimut. Le centre du diagramme correspond à l'emplacement de la mesure. Un exemple est proposé dans la Fig. 4.

On trouvera au § 3 un diagramme encore plus spécialisé qui représente un balayage hémisphérique effectué au moyen de l'antenne directive. Ce diagramme permet d'analyser les signaux provenant de sources terrestres et spatiales.

FIGURE 4

Construction d'un diagramme en azimut à partir d'enregistrements d'émissions effectués à un point de mesure



1.5 Analyse des résultats

Les valeurs et les diagrammes obtenus à partir des mesures peuvent servir à détecter la présence d'émissions non désirées. Le balayage en azimut peut en outre fournir la direction de ces émissions.

On peut notamment détecter la présence d'émissions non désirées ou brouilleuses en fixant un seuil au-delà duquel on examinera les valeurs de crête ou toute augmentation inattendue de la puissance de bruit.

Les différences entre les puissances de crête, moyenne et de bruit peuvent être normalisées pour faciliter la comparaison et la classification des signaux. Cette normalisation peut en outre favoriser la découverte d'un signal brouilleur potentiel.

2 Exigences des équipements de contrôle

2.1 Exigences générales

La gamme de fréquences de fonctionnement des équipements de mesure devrait couvrir les bandes de fréquences attribuée au SRNS. Le Tableau 2 montre les fréquences attribuées aux services du SRNS: GLONASS (L1, L2, L3), GPS (L1, L2, L5), Galileo (E1, E5, E6), BeiDou (B1, B2, B3).

TABLEAU 2

Attribution de bandes de fréquences au service de radionavigation par satellite

N°	Bande de fréquences (MHz)
L1, E1, B1	1 559-1 610
L2, E6, B3	1 215-1 300
L3, L5, E5, B2	1 164-1 215

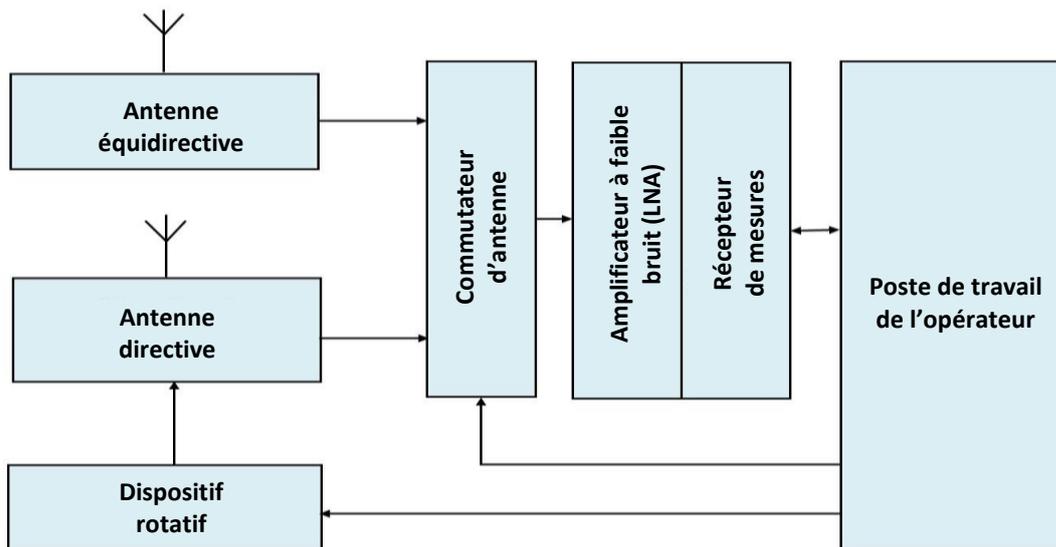
Les équipements de contrôle se composent des éléments suivants:

- Une antenne de mesure directive montée sur un tripode et un plateau rotatif;
- Une antenne équidirective (facultative);
- Un commutateur d'antenne;
- Un amplificateur à faible bruit (facultatif);
- Un filtre passe-bande (facultatif);
- Un récepteur de mesures ou un analyseur de spectre;
- Un récepteur de navigation pour enregistrer les coordonnées du lieu de mesure;
- Un ordinateur équipé d'une interface de commande à distance.

On trouvera dans la Fig. 5 un diagramme de ces équipements.

FIGURE 5

Diagramme des équipements de mesure



Les informations concernant les niveaux de brouillage acceptables peuvent être déduites des Recommandations UIT-R M.1902, UIT-R M.1093 et UIT-R M.1905. Il ressort de ces documents que:

- la sensibilité du récepteur dans une largeur de bande de 1 kHz devrait être de $-115...-119$ dBm;
- le bruit du récepteur dans une largeur de bande de 1 Hz (DANL) devrait être de $-155...-160$ dBm.

2.2 Exigences concernant les équipements de mesure

Les exigences concernant les équipements reposent sur l'expérience de l'exploitation des bandes de fréquences du SRNS ainsi que sur les critères définis dans la Recommandation UIT-R SM.1753. Nous avons employé des analyseurs de spectre en temps réel, car contrairement aux analyseurs à balayage, ils permettent de détecter, d'afficher et d'enregistrer des impulsions de courte durée.

Nous avons employé les types d'antennes suivants:

- Directive: antenne cornet ou antenne parabolique pour le balayage en azimut si des signaux proviennent de sources terrestres;
- Directive: antenne parabolique pour le balayage en azimut et en élévation si des signaux proviennent de sources aériennes et spatiales;
- Équadirective: antenne doublet ou biconique pour le balayage fournissant un aperçu général (équipement auxiliaire).

Dans la mesure du possible, la polarisation des antennes de mesure devrait correspondre à celle du système SRNS protégé. Si l'on emploie des antennes paraboliques équipées d'une alimentation, la direction de la polarisation doit être modifiée en raison du réflecteur: les antennes employées dans le SRNS sont généralement à polarisation circulaire dextrogyre (RHCP) et doivent être remplacées par une polarisation circulaire lévogyre (LHCP) lorsque l'onde est guidée du réflecteur vers la parabole.

3 Exemple pratique de contrôle dans les bandes du SRNS

Le présent exemple concerne un contrôle effectué depuis un lieu de mesure particulier dans l'ensemble de la gamme de fréquences 1 597-1 607 MHz. Il illustre le paramétrage des mesures et les procédures employées pour enregistrer et analyser les données relevées, ainsi que l'établissement et l'interprétation de diagrammes. Le système SRNS concerné est GLONASS.

3.1 Équipement de mesure employé pour contrôler la bande de fréquences de GLONASS

L'équipement suivant a été employé pour effectuer les mesures:

- 1 Analyseur de spectre:
 - Bande de fréquences L1 attribuée à GLONASS: 1 597-1 607 MHz
 - Largeur de bande de la résolution (RBW): 1 kHz
 - Type de détecteur: calcul de moyenne
 - Nombre de moyennes par émission: 100
- 2 Antenne cornet employée pour les mesures:
 - Polarisation: verticale rectiligne
 - Hauteur de l'antenne: 2,85 m
 - Angle d'élévation: 0°
 - Azimut de l'antenne: 0° à 360° par pas de 15°
- 3 Antenne parabolique employée pour les mesures: diamètre de 2 m
- 4 Antenne équidirective employée pour les comparaisons:
 - Polarisation: verticale rectiligne
 - Hauteur de l'antenne: 2,85 m

3.2 Point de mesure

Le point choisi pour effectuer les mesures était situé dans une ville dont les immeubles étaient de faible ou de moyenne hauteur.

3.3 Analyse des assignations de fréquences

Selon le plan et la base de données d'assignation des fréquences, aucun émetteur terrestre n'était censé être actif dans les bandes de fréquences attribuées au SRNS.

3.4 Relèvement des mesures, enregistrement des émissions et calcul des valeurs caractéristiques

Depuis le site de mesure, le spectre a été analysé en balayant les azimuts au moyen de l'antenne cornet ("balayage en azimut"). Des mesures ont aussi été effectuées au moyen de l'antenne équidirective. Enfin, l'hémisphère a été balayé au moyen de l'antenne parabolique ("balayage en élévation"). Les valeurs caractéristiques (voir les §§ 1.3.1 à 1.3.3) ont ensuite été calculées. La gamme de fréquences contrôlée était la bande L1 attribuée à GLONASS (1 597-1 607 MHz).

3.4.1 Valeurs enregistrées dans le plan de l'azimut

Les résultats du balayage en azimut sont indiqués dans le Tableau 3, puis résumés dans le Tableau 4. Les résultats obtenus par l'antenne équidirective sont indiqués dans le Tableau 5. Les données des deux tableaux ont été combinées dans la Fig. 4.

TABLEAU 3

Caractéristiques des émissions observées au moyen de l'antenne directive

Azimut (degrés)	Puissance de crête de l'émission (dBm)	Puissance moyenne de l'émission (dBm)	Puissance de bruit (dBm)
0	-121,0	-136,1	-136,5
15	-120,7	-136,0	-136,6
30	-118,1	-136,1	-136,6
45	-119,7	-135,8	-136,6
60	-114,2	-136,1	-136,6
75	-113,0	-136,2	-136,7
90	-124,0	-136,3	-136,7
105	-120,0	-136,1	-136,7
120	-125,1	-136,2	-136,7
135	-130,2	-136,2	-136,7
150	-115,0	-136,2	-136,7
165	-130,6	-136,2	-136,7
180	-123,7	-136,1	-136,7
195	-124,3	-136,2	-136,7
210	-122,2	-136,3	-136,7
225	-125,4	-136,6	-136,7
240	-120,5	-136,6	-136,7
255	-127,3	-136,6	-136,7
270	-130,2	-136,6	-136,7
285	-125,0	-136,5	-136,7
300	-125,7	-136,3	-136,7
315	-121,9	-136,0	-136,6
330	-121,4	-135,9	-136,6
345	-121,6	-136,2	-136,7

TABLEAU 4

Valeurs de puissance maximale, minimale et moyenne obtenues pendant les mesures

Type de puissance	Puissance de crête de l'émission (dBm)	Puissance moyenne de l'émission (dBm)	Puissance de bruit (dBm)
Valeur moyenne	-120,1	-136,2	-136,7
Valeur maximale	-113,0	-135,8	-136,5
Valeur minimale	-130,6	-136,6	-136,7

TABLEAU 5

Caractéristiques des émissions observées au moyen de l'antenne équidirective

Paramètre	Valeur mesurée (dBm)
Puissance de crête des signaux dans la bande	-118,7
Puissance moyenne dans la bande	-130,5
Puissance de bruit	-134,4
Puissance de bruit du récepteur	-136,4

3.4.2 Valeurs enregistrées au cours du balayage en élévation ou hémisphérique

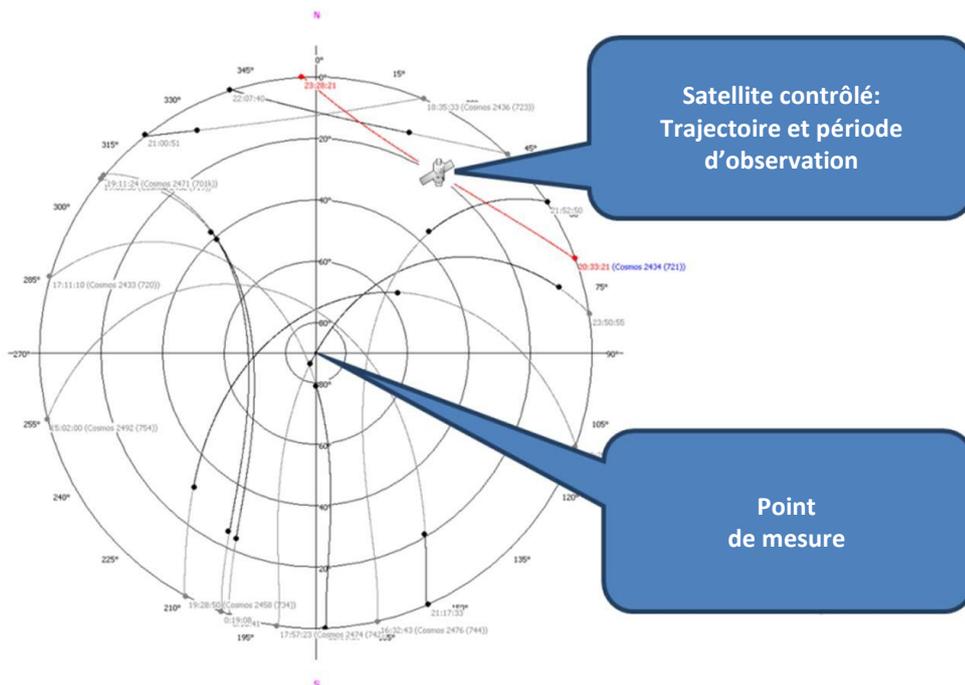
Les résultats des mesures effectuées au moyen de l'antenne parabolique sont propices à une analyse des signaux provenant de sources terrestres, aéronautiques et spatiales. S'il est nécessaire d'analyser l'hémisphère complet, il faut disposer d'un nombre beaucoup plus élevé d'enregistrements et d'angles d'antenne.

Au cours du processus de mesure, nous avons suivi le satellite Cosmos-2434 (721) du système GLONASS en nous fondant sur les données de sa trajectoire pendant la période de visibilité radioélectrique; la trajectoire du satellite ainsi calculée est illustrée en rouge dans la Fig. 6. Tous les autres satellites du système GLONASS sont indiqués en noir. Les points représentent les endroits où les satellites sont entrés dans la zone de visibilité du lieu de mesure, puis sortis de cette zone.

La Figure 6 montre en outre les trajectoires de tous les satellites du système GLONASS présents dans la zone de visibilité radioélectrique pendant les mesures. Ces trajectoires ont été établies au moyen d'un système de coordonnées en azimut et en élévation centré sur le lieu de mesure. Les points noirs représentent le début et la fin de la visibilité radioélectrique des satellites pendant la période de mesure.

FIGURE 6

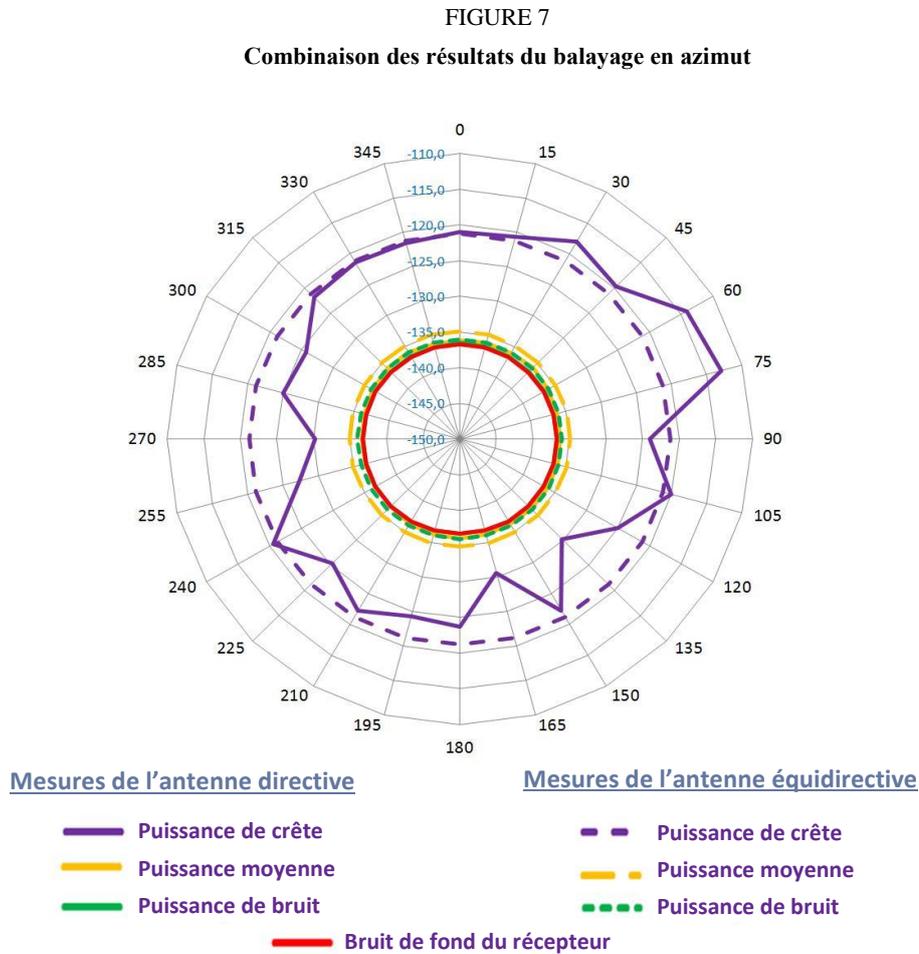
Trajectoires des satellites du système GLONASS pendant les mesures



3.5 Construction des diagrammes et analyse des résultats

3.5.1 Diagrammes du balayage en azimut et interprétation des résultats

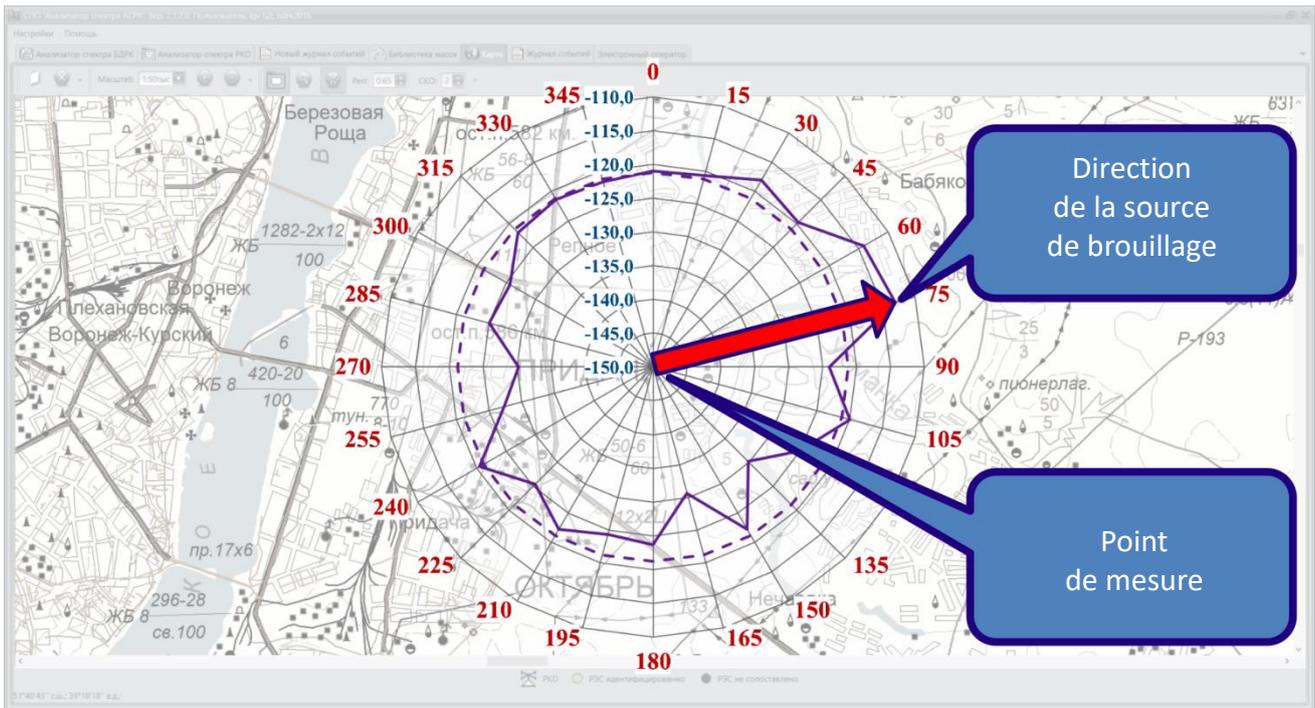
Les données présentées dans les Tableaux 3 et 4 sont reprises et combinées en un seul diagramme dans la Fig. 7.



La Figure 7 met en évidence une crête distincte dans la direction 60°-75° degrés. Dans la Fig. 8, nous avons reporté ce diagramme sur une carte numérique. Cette opération a clairement révélé la présence et la direction des sources d'émission et de brouillage. La direction a été établie en retenant les valeurs maximales du jeu de données.

FIGURE 8

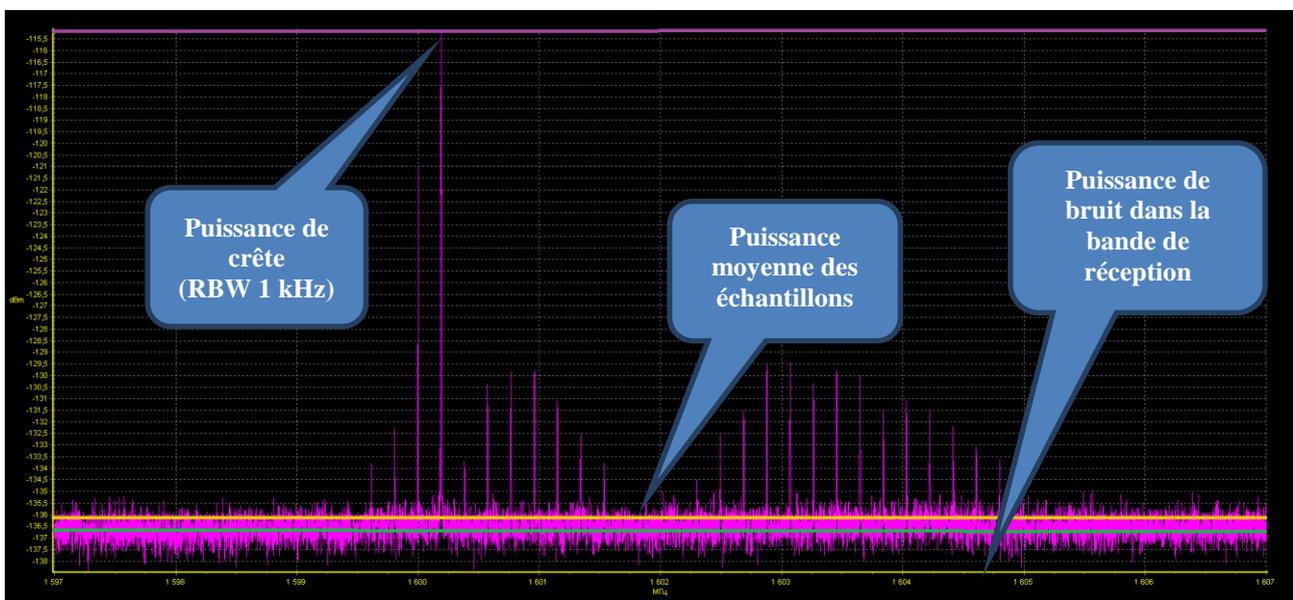
Résultats reportés sur une carte numérique pour indiquer la direction des sources de brouillage potentielles



Étant donné qu'aucune émission active n'était censée se trouver dans la direction 60° - 75°, cet enregistrement particulier a été examiné plus en détail. La Figure 9 illustre le spectre de la bande de fréquences L1 vu depuis le lieu de mesure dans la direction du niveau de crête. Ce dernier se situait à environ 17 dB au-dessus du niveau moyen.

FIGURE 9

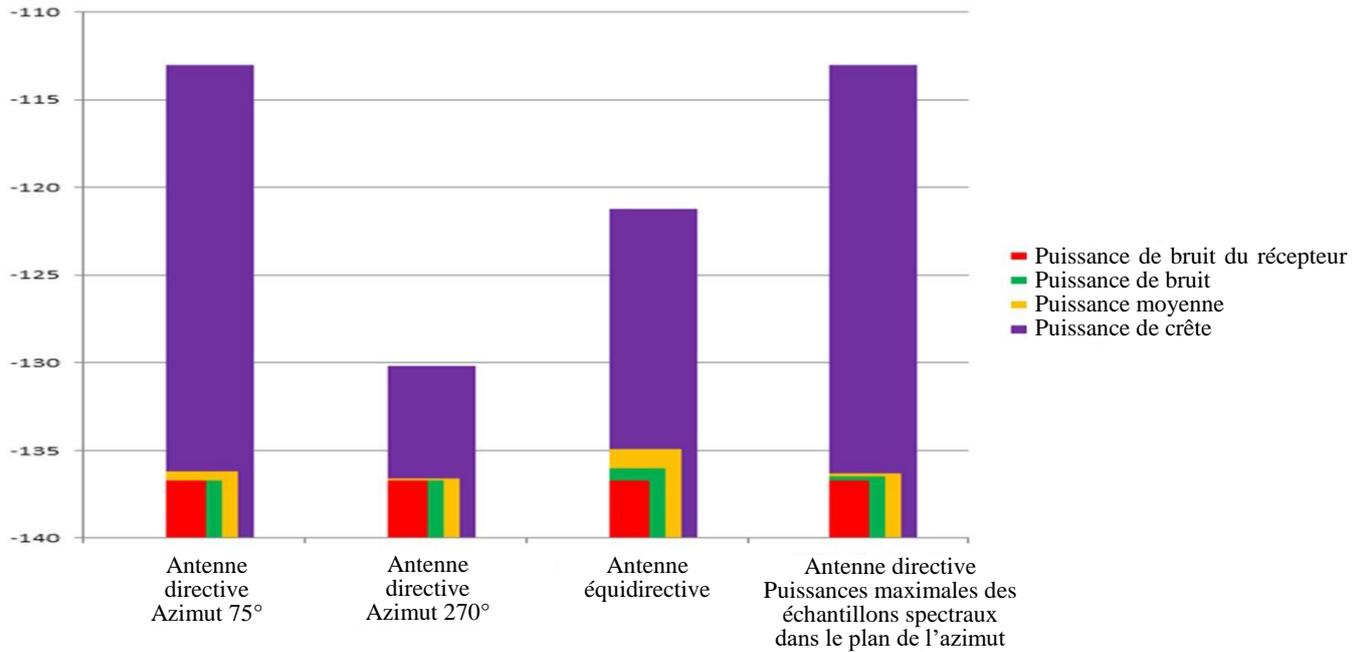
Spectre de la bande de fréquences L1 du système GLONASS (antenne directive, angle d'azimut 75°)



La Figure 9 montre les résultats des mesures du spectre effectuées au moyen des antennes directive et non directive.

FIGURE 10

Résumé des niveaux caractéristiques de bruit du récepteur dans la bande de fréquences L1 du système GLONASS

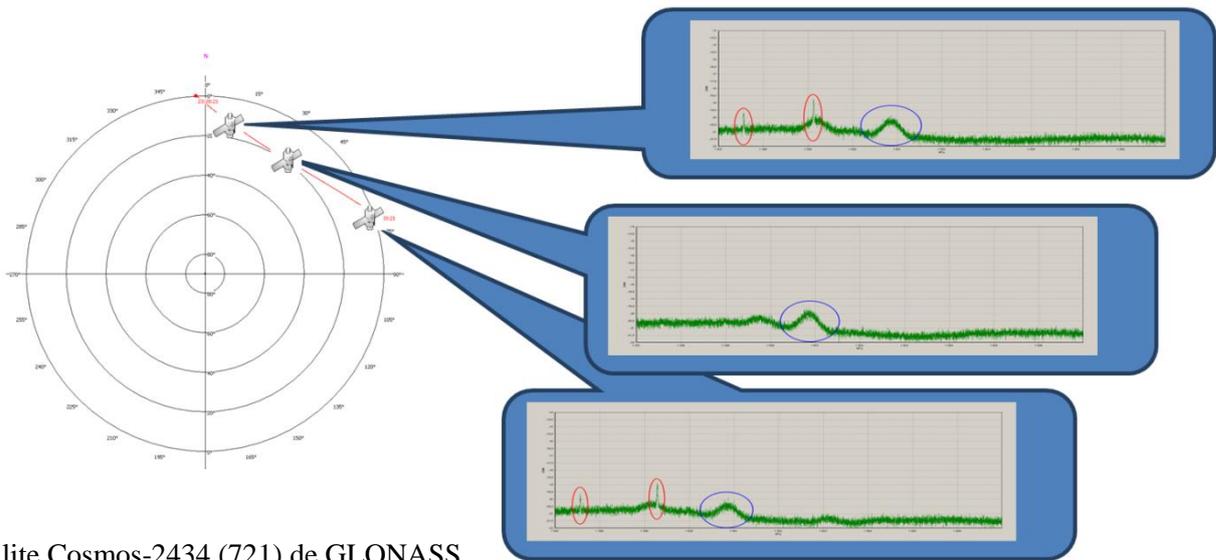


3.5.2 Diagrammes du balayage hémisphérique et interprétation des résultats

La Figure 11 montre les émissions reçues dans la bande de fréquences 1 597 à 1 607 MHz (L1, attribuée à GLONASS) aux trois angles d'azimut du satellite GLONASS contrôlé. Les signaux provenant de ce satellite sont signalés par un cercle bleu dans les émissions figurant dans le diagramme. La Figure 11 montre aussi les émissions brouilleuses (signalées par un cercle rouge) reçues à de faibles angles d'élévation.

FIGURE 11

Émissions dans la bande de fréquences L1 du système GLONASS (1 597-1 607 MHz)
aux trois angles d'azimut du satellite GLONASS contrôlé



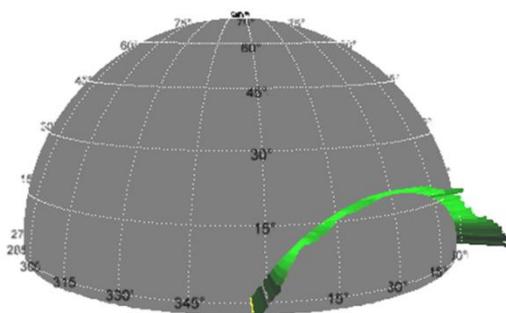
Satellite Cosmos-2434 (721) de GLONASS

La Figure 12 présente une combinaison des valeurs moyennes enregistrées dans la direction du satellite contrôlé selon deux systèmes de coordonnées:

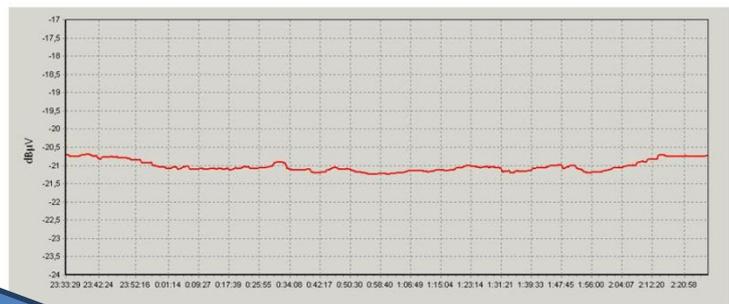
- Un diagramme hémisphérique en trois dimensions indiquant les coordonnées "azimut/élévation/niveaux d'émission". Les niveaux d'émission apparaissent en vert. L'hémisphère est centré sur le point de mesure;
- Un diagramme en deux dimensions indiquant "l'évolution dans le temps des niveaux d'émission dans la bande pendant la période d'observation". Chaque valeur de temps correspond à un certain angle d'azimut et d'élévation en direction du satellite contrôlé.

FIGURE 12

Combinaison des valeurs moyennes d'émission
dans la bande de fréquences L1 du système GLONASS (1 597-1 607 MHz)



Niveau moyen au cours du temps
des émissions provenant du satellite contrôlé
pendant la période d'observation



Satellite Cosmos-2434 (721) de GLONASS

Hémisphère centré
sur le point de mesure

