

# **Rapport UIT-R SM.2454-1** **(06/2023)**

Série SM: Gestion du spectre

## **Évaluation spatiale des signaux radioélectriques dans différentes bandes de fréquences**



## 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 <https://www.itu.int/UIT-R/go/patents/en>, 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

(Également disponible en ligne: <https://www.itu.int/publ/R-REP/en>)

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

*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, 2025

© UIT 2025

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.2454-1

**Évaluation spatiale des signaux radioélectriques dans  
différentes bandes de fréquences**

(2019-2023)

## TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1 Introduction .....	2
2 Principales étapes dans la mesure et l'analyse spatiale des émissions.....	2
3 Mesures visant à évaluer l'environnement électromagnétique et les conditions de brouillage .....	2
4 Déterminer les paramètres composites à partir des émissions .....	4
4.1 Calcul de la puissance de bruit .....	5
4.2 Calcul de la puissance de crête .....	5
4.3 Calcul de la puissance moyenne .....	6
5 Construire des diagrammes de distribution spatiale des émissions.....	6
6 Détermination des normes relatives aux niveaux d'émission .....	7
6.1 Norme relative aux niveaux d'émission à des fins de contrôle général .....	7
6.2 Norme relative aux niveaux d'émission aux fins de la planification des fréquences radioélectriques .....	7
7 Superposition de la distribution des niveaux d'émission directifs à d'autres informations sur une carte numérique .....	8
8 Analyse des résultats .....	8
9 Exemples de mesures et d'analyse spatiale des émissions.....	8
Annexe 1 – Exemple de mesures et d'analyse spatiale d'émissions provenant de sources de Terre dans la bande de fréquences des 900 MHz.....	9
Annexe 2 – Exemple de mesures et d'analyse d'émissions provenant de sources aériennes et spatiales dans la bande de fréquences 1 559-1 610 MHz attribuée au SRNS.....	11

## 1 Introduction

Les conditions de réception des signaux radioélectriques peuvent avoir un effet négatif sur la qualité des radiocommunications. Ces conditions comprennent le bruit de fond et les émissions des stations radioélectriques distribuées dans l'espace. Le présent Rapport décrit une technique de contrôle du spectre qui consiste à enregistrer et évaluer les signaux et le niveau de bruit en un emplacement donné, ainsi que la distribution spatiale correspondante dans la bande de fréquences considérée.

## 2 Principales étapes dans la mesure et l'analyse spatiale des émissions

La méthode utilisée pour mesurer et réaliser l'analyse spatiale des émissions comprend les principales étapes suivantes:

- 1) Acquisition et enregistrement des émissions à des fins d'analyse:
  - pour l'analyse des sources de Terre, le plan de l'azimut dans différentes directions est pris en considération;
  - pour les sources aériennes et spatiales, différentes directions définies par une combinaison d'azimuts et d'élévations sont prises en considération.
- 2) Détermination des paramètres composites des émissions enregistrées.
- 3) Élaboration d'un diagramme montrant la distribution spatiale des émissions par rapport au point de mesure.
- 4) Calcul des normes relatives aux niveaux d'émission pour chaque échantillon de données.
- 5) Superposition de données sur la carte géographique.
- 6) Analyse des résultats.

## 3 Mesures visant à évaluer l'environnement électromagnétique et les conditions de brouillage

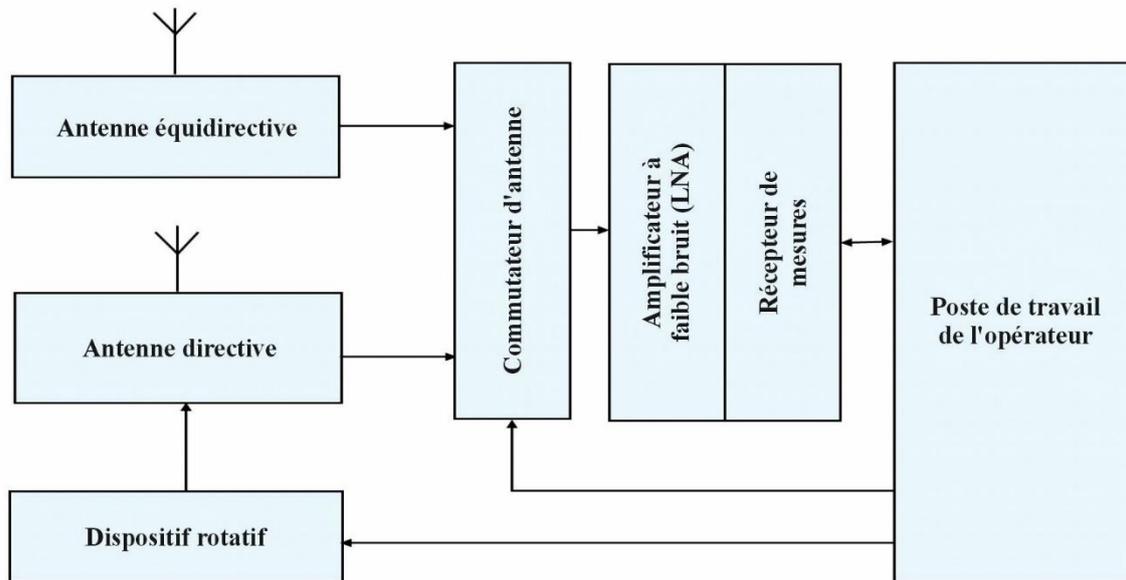
Le système de mesure utilisé pour effectuer des mesures dans une bande de fréquences donnée devrait comprendre les instruments et accessoires suivants:

- Une antenne de mesure directive montée sur un trépied et un plateau rotatif
- Une antenne équidirective
- Un commutateur d'antenne
- Un amplificateur à faible bruit
- Un récepteur de mesures ou un analyseur de spectre
- Un récepteur de navigation
- Un ordinateur équipé d'une interface de commande à distance

La bande de fonctionnement de l'équipement de mesure doit correspondre à la bande de fréquences dans laquelle l'analyse est réalisée. La polarisation de l'antenne de mesure doit correspondre à celle des signaux à mesurer.

Le système de mesure peut être mobile, fixe, portatif ou transportable en fonction des besoins, comme illustré dans la Fig. 1 ci-dessous.

FIGURE 1  
Diagramme des équipements de mesure



Rapport SM.2454-01

Dans le cadre du processus de mesure, les coordonnées géographiques du point de mesure, l'heure de la mesure, la hauteur de l'antenne, ainsi que les angles d'azimut et d'élévation de l'antenne de mesure sont enregistrés.

Pour effectuer les mesures, l'antenne directive tourne pas à pas, en balayant la zone environnante. À chaque pas, le spectre et l'orientation de l'antenne (azimut, élévation) dans la bande de fréquences contrôlée sont enregistrés. En fonction de la cible du contrôle, le balayage peut être configuré comme suit:

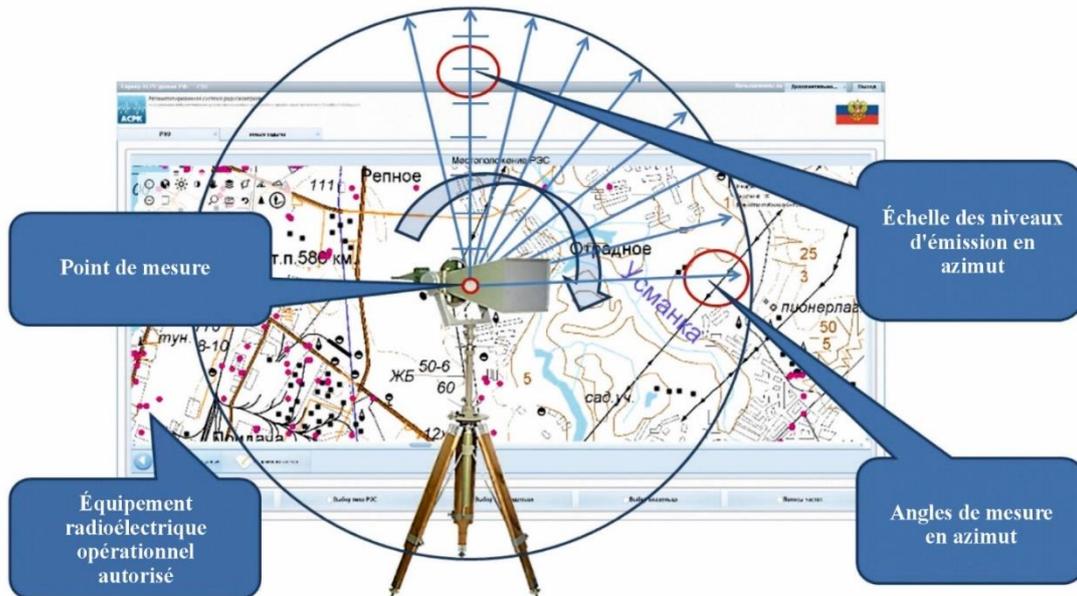
- Pour l'analyse des sources de Terre, balayage en azimut avec élévation constante.
- Pour l'analyse de sources aériennes et spatiales, balayage en azimut et en élévation, couvrant l'hémisphère supérieur.
- Pour l'analyse complexe de sources de Terre, aériennes et spatiales, combinaison des deux configurations décrites ci-dessus.

La taille du pas de balayage est déterminée par l'ouverture de faisceau à mi-puissance des antennes directives ainsi que par la résolution spatiale souhaitée.

Dans le cas d'une analyse complexe des émissions, on sépare les données et les évaluations des sources d'émission de Terre de celles des sources aériennes et spatiales en divisant les résultats des mesures en groupes en fonction de l'élévation de l'antenne de mesure.

La Figure 2 décrit le processus de balayage en azimut visant à analyser des émissions provenant de sources de Terre.

FIGURE 2  
Balayage en azimut



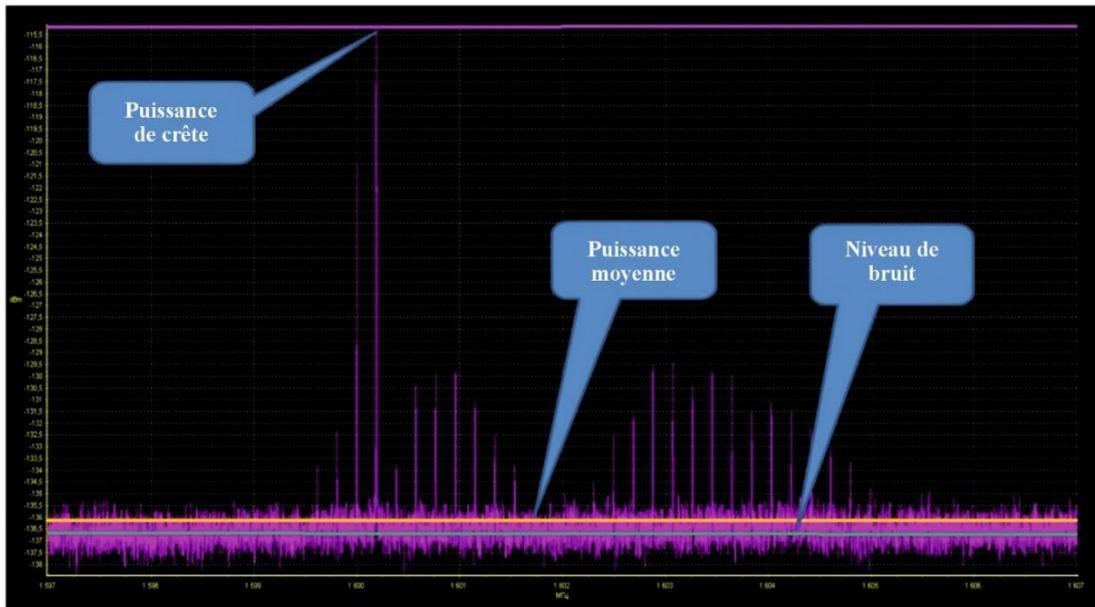
Rapport SM.2454-02

#### 4 Déterminer les paramètres composites à partir des émissions

Les paramètres composites d'émission comprennent le bruit de fond, le niveau de crête et le niveau moyen pour chaque émission dans la bande de fréquences donnée.

Les paramètres composites d'émission sont déterminés pour chaque émission enregistrée. Ceux-ci sont utilisés pour élaborer des diagrammes indiquant la distribution spatiale des émissions. On en trouvera un exemple dans la Fig. 3.

FIGURE 3  
Estimation des paramètres composites des émissions



Rapport SM.2454-03

#### 4.1 Calcul de la puissance de bruit

La puissance de bruit dans l'ensemble de la bande de fréquences contrôlée est déterminée conformément à la méthode décrite 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.

#### 4.2 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:

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

où:

- $P_{peak}$ : niveau de puissance de crête à la réception en dBm
- $P_i$ : valeur du  $i$ ème échantillon, en dBm
- $N$ : nombre total d'échantillons enregistrés.

### 4.3 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:

- $P_{mean}$ : niveau de la puissance moyenne à la réception dans la bande de fréquences en dBm
- $N$ : nombre total d'échantillons enregistrés
- $P_i$ : puissance du  $i$  ème échantillon de l'émission mesurée, en dBm.

## 5 Construire des diagrammes de distribution spatiale des émissions

Les directions d'arrivée des émissions mesurées sont décrites sous forme d'un diagramme de distribution spatiale.

Le point de mesure est au centre du diagramme. Ce système de coordonnées utilise des rayons espacés par azimuth et par élévation en fonction du pas utilisé pour le balayage avec l'antenne directive. Les rayons directifs sont gradués dans leur longueur pour représenter le niveau de puissance à la réception.

Si des émissions provenant de sources aériennes et spatiales font l'objet de la mesure, le diagramme bidimensionnel devient tridimensionnel.

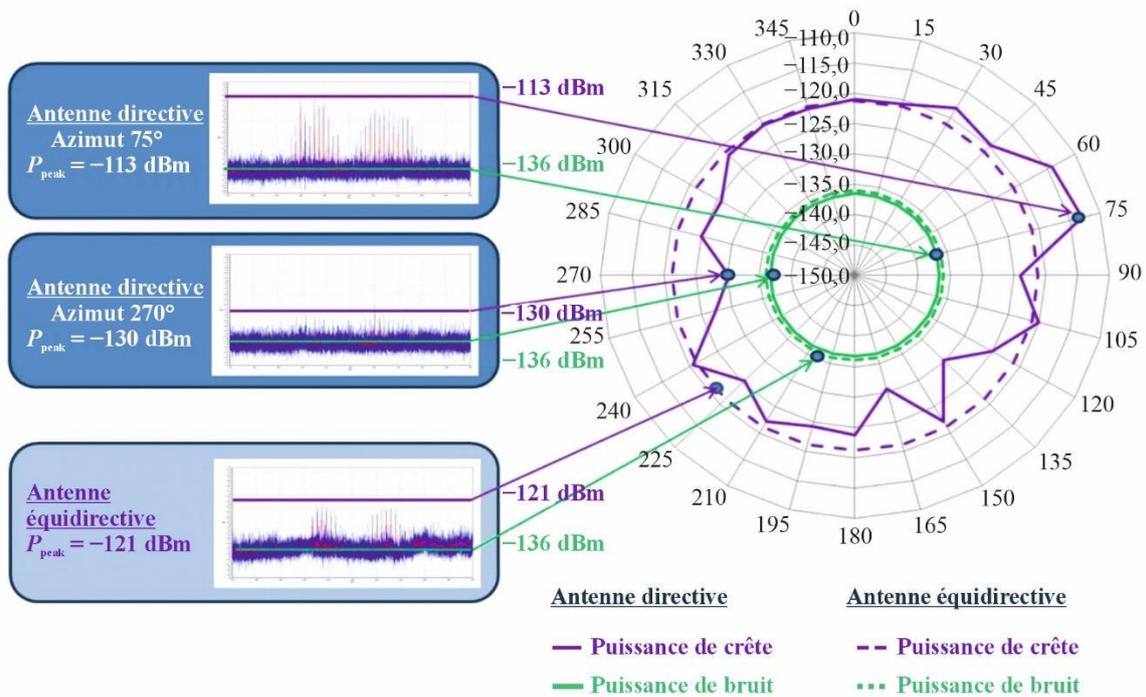
Le diagramme se construit en reliant les points sur les rayons gradués, qui indiquent la valeur des paramètres composites calculés pour le spectre des émissions acquis par l'antenne directive à l'azimut et à l'élévation considérés. Les deux types de points sont reliés par une droite identifiée par une couleur. Cela permet de représenter différents tracés sur le diagramme pour chaque paramètre composite d'émission.

Il est également possible de faire apparaître un seuil de détection des signaux radioélectriques spécifié (en utilisant un code couleur pour plus de clarté). Pour les diagrammes bidimensionnels, le seuil peut être indiqué par une ligne circulaire centrée au niveau de l'origine du diagramme. S'agissant des diagrammes tridimensionnels, les lignes indicatrices de seuil forment un hémisphère.

On trouvera dans la Fig. 4 une illustration de la construction et de la présentation finale d'un diagramme bidimensionnel.

FIGURE 4

Construction d'un diagramme de distribution des émissions dans le plan de l'azimut



Rapport SM.2454-04

## 6 Détermination des normes relatives aux niveaux d'émission

Les secteurs vers lesquels l'antenne directive est orientée sont appelés les secteurs directifs. Pour chacun de ces points d'échantillonnage, les normes relatives aux niveaux d'émission sont déterminées.

Pour chacun des secteurs directifs, la norme relative aux niveaux d'émission est déterminée par la limite des niveaux d'émission dans la bande de fréquences faisant l'objet de l'analyse pour les installations de contrôle des émissions radioélectriques situées dans le secteur.

La méthode utilisée pour déterminer la norme relative aux niveaux d'émission dépend de l'objectif des mesures réalisées, comme indiqué dans les paragraphes suivants.

### 6.1 Norme relative aux niveaux d'émission à des fins de contrôle général

Cette méthode est utilisée dans le cadre de l'évaluation générale de l'environnement radioélectrique, y compris des signaux brouilleurs.

La norme relative aux niveaux d'émission est calculée à partir de la puissance rayonnée assignée aux émetteurs dans chacun des secteurs directifs. Pour toutes ces stations, le niveau de la puissance rayonnée reçue au point de mesure est estimé à l'aide d'un modèle de propagation adapté à la gamme de fréquences et au type de signal considérés. Le niveau de puissance maximal attendu constitue la norme relative aux niveaux d'émission pour ce secteur directif particulier.

### 6.2 Norme relative aux niveaux d'émission aux fins de la planification des fréquences radioélectriques

Cette méthode est utilisée pour déterminer si une application de radiocommunication donnée peut être exploitée sans brouillage à l'emplacement de mesure.

Dans ce cas, la norme relative aux niveaux d'émission est calculée en utilisant la méthode décrite au § 6.1 ci-dessus. En outre, le rapport de protection RF requis est ajouté à la norme relative aux niveaux d'émission.

## **7 Superposition de la distribution des niveaux d'émission directifs à d'autres informations sur une carte numérique**

Pour effectuer une analyse spatiale des émissions, on procède à une superposition du diagramme figurant au § 5 sur une carte numérique. Les emplacements des sources d'émission connues peuvent également être indiqués sur la carte, par exemple au moyen d'un point. Ces emplacements peuvent être reliés au point de mesure par une droite ou une courbe, selon la projection de la carte.

En outre, il est possible d'indiquer la visibilité radioélectrique des équipements de mesure sur la carte. Pour cela, il faut connaître la hauteur de l'antenne de mesure, ainsi que l'emplacement d'une station radioélectrique représentative à l'intérieur de la zone considérée.

Pour plus de clarté, les différents éléments du diagramme (affichage de valeurs de même type, violations et cas de brouillage détectés) peuvent être indiqués de différentes couleurs.

## **8 Analyse des résultats**

Les diagrammes construits fournissent un récapitulatif des signaux présents à l'emplacement de mesure dans différents domaines.

Les signaux qui dépassent le seuil de détection du signal spécifié, ainsi que leur direction, leurs niveaux de puissance moyenne et de crête sont facilement repérables. La différence entre chacune des normes relatives aux niveaux d'émission apparaît pour chaque direction, tout comme le rapport signal/bruit.

Si les niveaux mesurés ne correspondent pas aux niveaux attendus selon les normes, les conditions de réception pourraient être différentes de celles prises pour hypothèse. Cette différence pourrait également nécessiter qu'une enquête approfondie soit menée, même si les conditions de licence sont remplies. Elle pourrait également indiquer la superposition d'un signal brouilleur ou d'un émetteur non autorisé, ou simplement un site où la réception est mauvaise.

## **9 Exemples de mesures et d'analyse spatiale des émissions**

Un exemple de la procédure présentée pour les sources d'émission de Terre dans la bande des 900 MHz est décrit dans l'Annexe 1.

On trouvera dans l'Annexe 2 un exemple de mesures et d'analyse complexes d'émissions aériennes et spatiales dans une bande de fréquences attribuée au SRNS.

## Annexe 1

### Exemple de mesures et d'analyse spatiale d'émissions provenant de sources de Terre dans la bande de fréquences des 900 MHz

La présente annexe donne un exemple de la technique décrite pour la gamme de fréquences des 900 MHz. Le point de mesure considéré est situé dans une zone urbaine avec de hauts bâtiments.

Dans la largeur de bande analysée de 10 MHz, 925 stations de radiocommunication autorisées situées sur 115 sites sont exploitées à proximité du point de mesure. Les niveaux de puissance autorisés des émetteurs des stations sont compris entre 1,5 et 20° W.

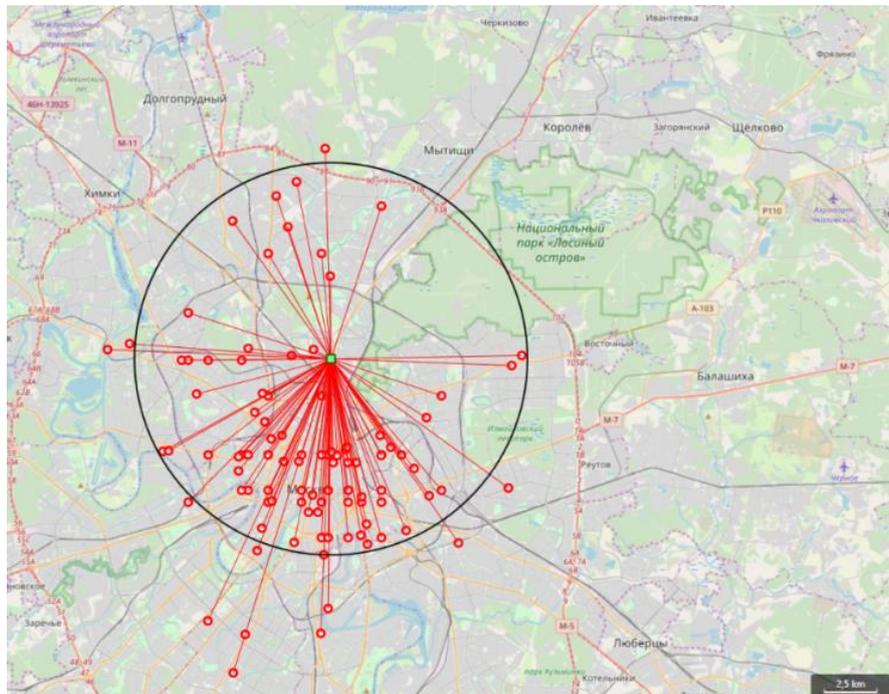
Configuration et paramètres des mesures:

- Antenne à cornet
- Taille de pas de l'azimut de 10 degrés
- Hauteur de l'antenne de 10 mètres au-dessus du niveau du sol
- Seuil de détection du signal spécifié à 40 dB $\mu$ V/m.

La zone de visibilité radioélectrique calculée pour le système de mesure composé d'une station radioélectrique standard développant une puissance de 3° W à 900 MHz est de 6,12 km.

La Figure 5 montre le point de mesure (point vert) et les stations radioélectriques autorisées à proximité de ce point, qui sont supposées pouvoir recevoir des émissions selon les prévisions de propagation établies conformément à la méthode décrite dans la Recommandation UIT-R P.1546-5 (points rouges). La portée de visibilité radioélectrique est indiquée par un cercle noir.

FIGURE 5  
Point de mesure et stations radioélectriques avec angle d'arrivée et zone de visibilité radioélectrique calculée

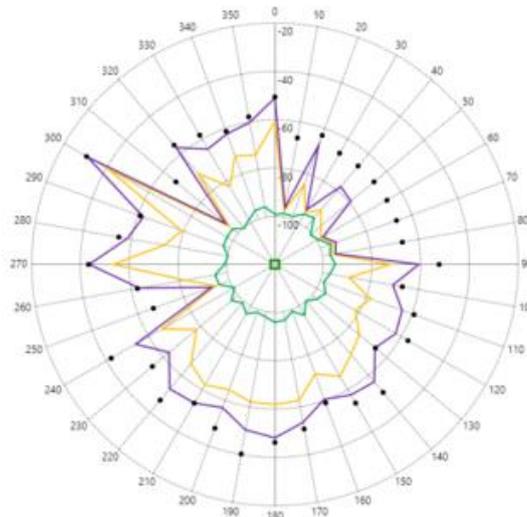


Tous les émetteurs représentés dans la Fig. 5 sont utilisés pour le calcul des normes relatives aux niveaux d'émission pour les azimuts cibles. Les mesures sont réalisées une fois que ces étapes préparatoires sont terminées.

Les valeurs des normes relatives aux niveaux d'émission par azimuth sont indiquées dans la Fig. 6 par des points noirs et sont superposées aux résultats des mesures. Le tracé vert indique le niveau de bruit de fond, le tracé jaune correspond aux niveaux de puissance moyenne et le tracé violet correspond aux niveaux de puissance de crête. En ce qui concerne les azimuths où aucun émetteur n'est attendu, le point noir a été fixé à un seuil de détection du signal d'environ  $-65$  dBm.

FIGURE 6

**Diagramme illustrant les résultats des mesures par azimuth superposées aux normes relatives aux niveaux d'émission**



La Figure 6 montre que les niveaux de puissance d'émission n'ont pas franchi le seuil autorisé. En ce qui concerne les pas d'azimut où aucun émetteur n'était attendu, aucun signal supérieur au seuil de détection n'a été enregistré.

Cette procédure a été mise en œuvre dans une autre situation et a produit les résultats illustrés à la Fig. 7. Dans cette figure, les données correspondant à l'azimut de 50 degrés montrent un niveau dépassant la norme relative aux niveaux d'émission. Cela peut indiquer un éventuel brouillage produit par un émetteur fonctionnant à une puissance supérieure au niveau autorisé ou simplement être dû aux conditions de propagation.

FIGURE 7

Directions des sources d'émission sur la base des données de mesure (lignes rouges)



## Annexe 2

### Exemple de mesures et d'analyse d'émissions provenant de sources aériennes et spatiales dans la bande de fréquences 1 559-1 610 MHz attribuée au SRNS

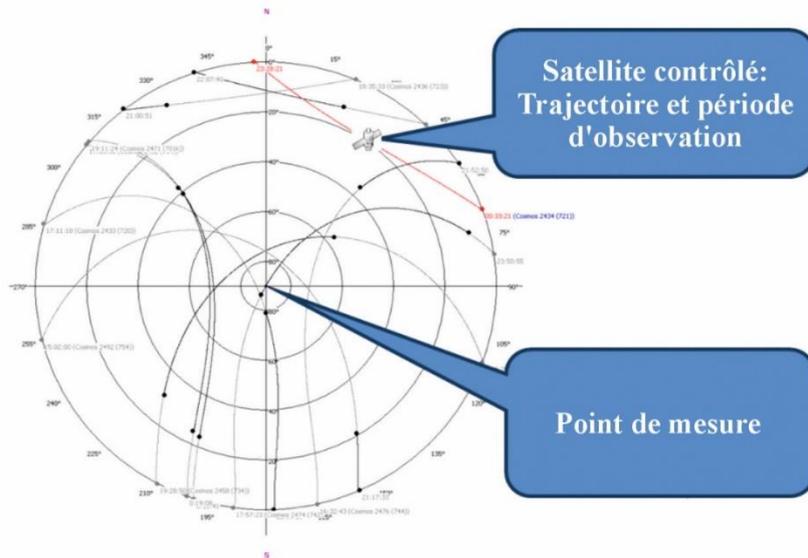
La présente annexe donne un exemple de mesures et d'une analyse spatiale complexes des émissions provenant de sources aériennes et spatiales.

Le contrôle porte sur le système GLONASS du SRNS, service qui bénéficie de l'attribution de certaines parties de la gamme de fréquences 1 597-1 607 MHz. Pendant le processus de mesure, le satellite GLONASS Cosmos-2434 (721) a été suivi à l'aide de ses données de trajectoire.

Dans cet exemple, on a utilisé des analyseurs de spectre en temps réel pour faciliter le suivi d'événements rapides à impulsions, avec une antenne parabolique de 2 m de diamètre.

La Figure 8 montre 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 point de mesure. Les points noirs représentent le début et la fin de la visibilité radioélectrique des satellites pendant la période de mesures.

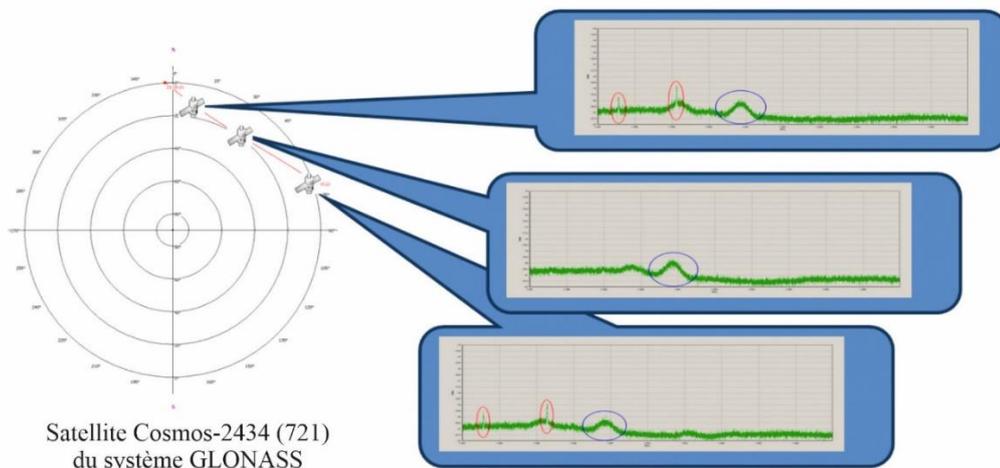
FIGURE 8  
Trajectoires des satellites du système GLONASS pendant les mesures



Rapport SM.2454-08

La Figure 9 montre les émissions reçues dans la bande de fréquences de mesure 1 597-1 607 MHz (L1, attribuée au système GLONASS) aux trois angles d'azimut de mesure du satellite GLONASS contrôlé. Les signaux provenant de ce satellite sont les émissions indiquées par un cercle bleu dans le diagramme. La Figure 9 montre aussi les signaux potentiellement brouilleurs des émissions, indiqués par un cercle rouge, à de faibles angles d'élévation.

FIGURE 9  
Émissions dans la bande de fréquences de mesure L1 du système GLONASS (1 597-1 607 MHz) aux trois angles d'azimut du satellite GLONASS



Satellite Cosmos-2434 (721)  
du système GLONASS

Rapport SM.2454-09

La Figure 10 représente une combinaison des valeurs d'émission enregistrées dans la bande de fréquences de mesure dans la direction du satellite contrôlé selon deux systèmes de coordonnées:

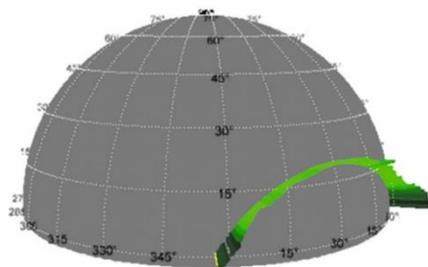
- un diagramme hémisphérique tridimensionnel centré sur le point de mesure. Les niveaux d'émission apparaissent en vert;

- un diagramme bidimensionnel indiquant «l'évolution dans le temps des niveaux d'émission dans la bande de fréquences pendant la période d'observation». Chaque valeur de temps correspond à un certain angle d'azimut et d'élévation en direction du satellite contrôlé.

Les pics de niveau apparaissant dans les diagrammes indiquent des sources de brouillage potentielles ou sont dus à une augmentation du bruit de fond lorsque l'antenne parabolique est pointée vers l'horizon.

FIGURE 10

Valeurs moyennes d'émission dans la bande de fréquences de mesure L1 du système GLONASS (1 597-1 607 MHz) dans la direction du satellite GLONASS



Satellite Cosmos-2434 (721)  
du système GLONASS

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



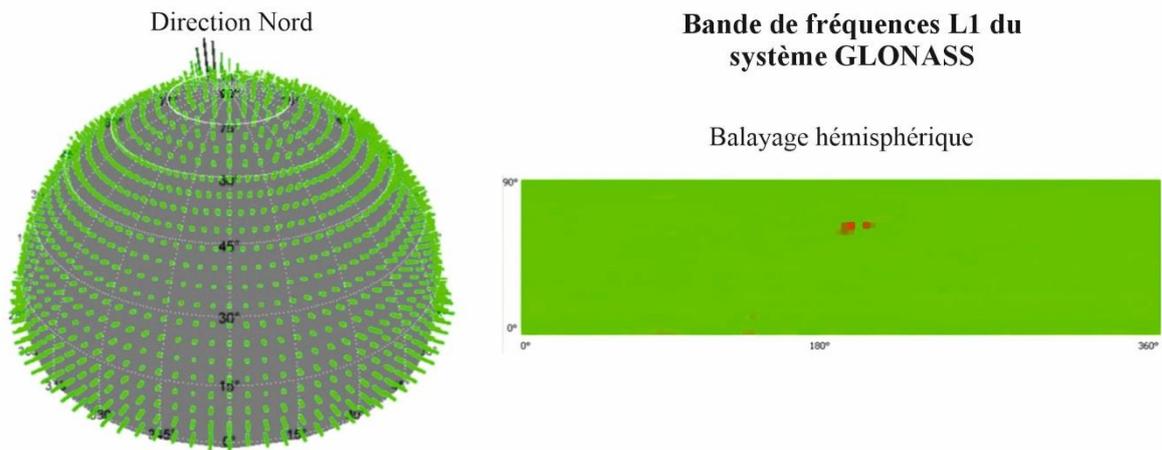
Rapport SM.2454-10

Les pics de niveau d'émission apparaissant dans les diagrammes ci-dessus indiquent des sources d'émission et de brouillage potentielles; ils peuvent aussi être dus à des niveaux élevés de bruit de fond en cas de pointage vers l'horizon.

La Figure 11 montre deux diagrammes illustrant les niveaux de puissance reçue dans la bande de fréquences contrôlée:

- un diagramme hémisphérique en trois dimensions indiquant les niveaux de puissance reçue en vert. L'hémisphère est centré sur le point de mesure (côté gauche de la Fig. 11);
- un diagramme en trois dimensions dans le plan de l'azimut et de l'élévation, dans lequel les niveaux de puissance reçue sont représentés par un code couleur. Le rouge clair correspond aux niveaux élevés, tandis que le vert sombre indique les niveaux faibles (côté droit de la Fig. 11).

FIGURE 11

**Diagrammes d'analyse spatiale des niveaux observés au point de mesure**

Rapport SM.2454-11

Les diagrammes présents dans la Fig. 11 indiquent les niveaux élevés de puissance reçue en provenance de l'espace aérien ou de l'espace extra atmosphérique à certains angles d'azimut et d'élévation pendant la période de mesures.

---