

Union internationale des télécommunications

# UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R SM.2097-0**  
(08/2016)

## **Mesures sur site de la précision d'un radiogoniomètre fixe**

**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 l'Annexe 1 de 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 oeuvre 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 Recommandations UIT-R

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

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>	<b>Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe</b>
<b>SM</b>	<b>Gestion du spectre</b>
<b>SNG</b>	Reportage d'actualités par satellite
<b>TF</b>	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
<b>V</b>	Vocabulaire et sujets associés

*Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.*

Publication électronique  
Genève, 2017

© UIT 2017

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.

## RECOMMANDATION UIT-R SM.2097-0

**Mesures sur site de la précision d'un radiogoniomètre fixe**

(2016)

**Domaine d'application**

La présente Recommandation donne des indications sur les méthodes normalisées à utiliser pour évaluer la précision de relèvement d'un radiogoniomètre fixe dans son environnement final et communiquer les résultats. Elle peut être utilisée dans le cadre d'un test de validation sur site pour les services de contrôle après l'installation sur le site.

**Mots clés**

Précision des radiogoniomètres, mesures sur site, environnement réaliste

**Recommandations et Rapports de l'UIT connexes**

Recommandation UIT-R SM.2060

Rapport UIT-R SM.2125

NOTE – La dernière édition de la Recommandation/du Rapport devrait être utilisée dans tous les cas.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que l'UIT-R a publié les spécifications types pour la précision des radiogoniomètres<sup>1</sup> dans le Manuel de l'UIT sur le contrôle du spectre (édition de 2011);
- b) que le Manuel UIT sur le contrôle du spectre (édition de 2011) fait référence au Rapport UIT-R SM.2125 «Paramètres et procédures de mesure des récepteurs et des stations de contrôle du spectre dans les bandes des ondes décimétriques, métriques et décimétriques», qui définit la précision des radiogoniomètres et donne des procédures de test pertinentes;
- c) que la spécification de la précision des radiogoniomètres dépend étroitement des procédures de test appliquées;
- d) que les données de qualité de fonctionnement figurant dans les spécifications des équipements de radiogoniométrie reflètent habituellement des conditions de test idéales et n'intègrent pas les effets des obstacles, réflexions et signaux RF perturbateurs rencontrés au niveau du site d'installation final;
- e) que la précision d'un système de radiogoniométrie sur site peut fortement dépendre de ces conditions environnementales<sup>2</sup> ainsi que de la nature du signal (puissance du signal, modulation du

---

<sup>1</sup> Aux fins de l'analyse figurant dans la présente Recommandation, la «précision d'un radiogoniomètre» s'entend de la précision des relèvements d'un système de radiogoniométrie sur des signaux provenant de l'horizon, sans tenir compte des signaux qui arrivent selon d'autres angles d'élévation tels que l'onde ionosphérique.

<sup>2</sup> Dans les environnements d'exploitation réels, les conditions de trajets multiples peuvent être simples ou complexes, statiques ou variables dans le temps, et différentes selon les environnements. Ces conditions varient également en fonction des hauteurs d'antenne de radiogoniométrie pour un même lieu.

signal notamment les signaux de phase et les signaux variant dans le temps, rapport cyclique, polarisation et durée du signal) et du temps d'intégration du radiogoniomètre;

f) que, selon les exigences de la tâche à accomplir, une ou plusieurs de ces conditions spécifiques peuvent être plus ou moins importantes, et, dans certains cas, être omises;

g) que le site et l'installation du système de radiogoniométrie peuvent avoir une incidence directe sur la précision du système et sur l'opportunité d'utiliser ce système pour effectuer certaines opérations de contrôle,

*recommande*

que les procédures de test figurant dans l'Annexe 1 soient utilisées pour déterminer et communiquer l'ensemble des précisions d'un système de radiogoniométrie installé sur son site final;

## Annexe 1

### 1 Introduction

La présente Recommandation propose des procédures de test générales qui peuvent être utilisées pour évaluer la précision d'un système de radiogoniométrie dans son environnement RF réaliste. Alors que la précision de radiogoniométrie indiquée par le fabricant dans la fiche technique est une mesure de la qualité de fonctionnement dans des conditions de réception propres et contrôlées (voir la Recommandation UIT-R SM.2060), les tests décrits dans la présente Recommandation ont pour objet d'évaluer la précision de radiogoniométrie dans l'environnement RF dans lequel un système de radiogoniométrie donné est installé. Cet environnement inclut en principe les bâtiments environnants, les obstacles, les réflexions sur des objets voisins et mobiles, et, parfois, la présence de signaux RF de forte puissance.

Les mesures de la qualité de fonctionnement dans des environnements propres et contrôlés donnent des résultats bien adaptés à la comparaison des précisions de radiogoniométrie. Cela étant, si le système ne fonctionne pas correctement dans son environnement d'exploitation, il perd de son utilité. Il est donc recommandé d'appliquer des procédures de test bien définies aux installations sur site fixe en vue d'analyser la précision des radiogoniomètres en environnement réel, en particulier dans le cadre des essais de réception.

Il va de soi que la précision de radiogoniométrie mesurée dans l'environnement d'exploitation réel peut être moins bonne que celle figurant dans la fiche technique, et ce en raison des effets généralement négatifs de l'environnement RF d'exploitation. Cela étant, les erreurs de radiogoniométrie mesurées sur site peuvent ou non être (partiellement) corrigées (tables de correction par exemple); cela dépend de la façon dont le système a été conçu.

Il convient de noter que les résultats de précision radiogoniométrique mesurés en appliquant les méthodes décrites dans la présente Recommandation concernent uniquement l'installation de radiogoniométrie mesurée et qu'ils ne sauraient être appliqués à d'autres systèmes de radiogoniométrie, même de même type, dans des environnements RF différents.

On notera également que cette procédure ne prétend pas constituer un essai de réception complet sur site. Même si elle peut en constituer la base, il existe généralement des prescriptions plus détaillées, spécifiées par l'utilisateur, basées sur des objectifs de couverture et de qualité de fonctionnement.

Deux essais sont recommandés: 1) des essais effectués au moyen d'un émetteur de test dont la fréquence et l'emplacement peuvent être contrôlés et qui émet des signaux d'ondes entretenues à un niveau ajusté pour fournir un rapport signal/bruit de 20 dB ou plus au niveau du système à l'essai, et 2) des essais mettant en œuvre des signaux provenant de stations de diffusion connues en service et d'autres émetteurs d'emplacement fixe et connu (appelés «cibles d'opportunité») dont les types de modulation et les niveaux de signal peuvent être différents, étant entendu que seuls seront utilisés les signaux de cibles d'opportunité présentant un rapport signal/bruit au moins égal à la valeur minimale spécifiée par le fabricant du système à l'essai.

## **2 Montage utilisé pour les mesures**

Le système de radiogoniométrie doit être testé dans des conditions d'exploitation, sur les lieux mêmes où il sera utilisé par l'administration qui l'aura acquis. Une autre solution acceptable est celle des «tests opérationnels en usine», qui devraient toutefois être faits dans des conditions aussi proches que possible des conditions attendues, auxquelles sera soumis le système une fois mis en service.

### **Détermination de la zone de couverture pour l'essai**

Avant de réaliser les tests de précision, il convient d'effectuer une analyse pour déterminer la zone de couverture des émetteurs à l'essai que l'on prévoit de mettre en service, ainsi que les stations de diffusion connues et d'autres émetteurs d'emplacement connu (appelés aussi «cibles d'opportunité»). Une bonne cible d'opportunité doit avoir une puissance de sortie stable et être capable de délivrer un rapport signal/bruit suffisant pendant toute la durée de l'essai. Des outils de simulation peuvent être utilisés pour analyser la couverture à partir de la puissance d'émission requise, de la fréquence, de la modulation et de l'emplacement. Cette analyse facilitera la planification des emplacements des émetteurs de test et le choix des cibles d'opportunité.

### **Considérations touchant à la puissance de l'émetteur d'essai**

Les émetteurs d'essai devraient émettre un signal en ondes entretenues avec une puissance suffisante pour délivrer un rapport signal/bruit de 20 dB ou plus; cela étant, l'administration et le fabricant peuvent s'entendre pour que soient utilisés des signaux présentant un rapport signal/bruit minimal pour lequel une précision donnée est atteinte (tel que documenté par le fabricant). S'agissant des cibles d'opportunité, il faudra nécessairement utiliser les types de modulation et les niveaux de signal effectivement émis, sachant toutefois que les rapports signal/bruit reçus inférieurs au minimum spécifié par le fabricant ne seront pas utilisés.

### **Considérations touchant à l'émetteur et à l'antenne d'essai**

L'équipement d'essai doit être préparé en vue des évaluations/tests sur le terrain. Il comprend des émetteurs, qui sont utilisés pour générer des signaux dans la gamme de fréquences à laquelle on s'intéresse, avec une puissance permettant d'atteindre le rapport signal sur bruit reçu souhaité. L'équipement d'essai (émetteur, antennes d'émission, etc.) devrait être étalonné de façon à garantir que les données recueillies sont valides.

Pour simuler au plus près les conditions d'exploitation, il est recommandé d'utiliser des antennes équidirectives avec les émetteurs. Cela étant, si les parties en conviennent d'un commun accord, on pourra utiliser pour les tests une antenne directive dans un objectif précis. Ces cas de figure devraient être indiqués clairement dans les résultats de l'essai.

### **Emplacements de l'émetteur d'essai**

L'équipement d'essai devrait être installé dans un véhicule doté d'un système GPS et d'une source d'alimentation appropriée (le véhicule d'essai); le véhicule se rendra en différents lieux, le long de routes à l'intérieur de la zone de couverture calculée, de façon à ce que l'on obtienne au moins huit

valeurs d'azimut bien réparties sur  $360^\circ$  (deux par quadrant)<sup>3</sup>. Les points d'essai devraient être en visibilité directe du radiogoniomètre. La différence entre deux angles d'essai adjacents quelconques ne devrait pas être inférieure à  $30^\circ$ . Si, pour des raisons pratiques, il est impossible de respecter cette répartition des emplacements des émetteurs, on pourra utiliser d'autres répartitions, avec, de préférence, deux points par quadrant, dès l'instant où la zone à l'étude est couverte.

Les essais doivent porter sur 8 points au minimum. Ces 8 points devraient être situés à des distances différentes du système de radiogoniométrie, allant de la proximité immédiate à la limite extérieure de la zone de couverture. Le point d'essai situé le plus loin devrait être à la limite de la couverture permettant d'assurer un rapport signal/bruit de 20 dB. S'agissant du point d'essai situé le plus près, il suffira d'être dans le champ lointain. Les points d'essai pourront être choisis par les administrations. En outre, sur accord mutuel entre le fabricant et l'administration, on pourra utiliser des points d'essai supplémentaires, pour que l'administration puisse avoir une idée plus précise de la qualité de fonctionnement du système dans son environnement.

### **Choix de la fréquence d'émission d'essai**

Les fréquences choisies devraient être bien réparties à l'intérieur de la gamme de fréquences. Elles devraient être correctement séparées (en fréquence) de celles des «cibles d'opportunité» mentionnées ci-dessus de sorte que le résultat du relèvement pour le signal d'émission d'essai ne soit pas perturbé par le signal d'une cible d'opportunité adjacente<sup>4</sup>. La méthode de sélection des fréquences d'essai pourra être celle de la Recommandation UIT-R SM.2060 (le nombre final des fréquences d'essai peut être limité par des restrictions associées aux licences ou par d'autres facteurs).

### **Réglages de la modulation de l'émetteur d'essai**

Le test devrait être effectué avec des porteuses non modulées (en ondes entretenues) au moyen des émetteurs d'essai et des cibles d'opportunité mentionnés plus haut. Les cibles d'opportunité devraient comprendre des signaux analogiques et numériques modulés suivant des types de modulation que l'on rencontre couramment dans les signaux devant être reçus par le système radiogoniométrique installé et courants dans l'environnement d'exploitation<sup>5</sup>.

Si l'essai est réalisé au moyen de porteuses non modulées, la largeur de bande du radiogoniomètre sera fixée à une valeur conforme à la Recommandation UIT-R SM.2060. Si l'essai est réalisé au moyen d'un signal avec modulation analogique ou numérique, la largeur de bande du radiogoniomètre sera ajustée en fonction de la largeur de bande du signal.

### **Communication des configurations de l'essai**

Toutes les configurations de l'essai (niveau du signal d'essai en  $\mu\text{V/m}$ , type du signal de l'essai, largeur de bande du radiogoniomètre, angle du point d'essai, distance d'essai, types d'antenne, etc.) devraient être consignées dans le rapport.

---

<sup>3</sup> Il s'agit de la configuration optimale d'un système de radiogoniométrie couvrant  $360^\circ$ . Il pourra être justifié d'adopter une configuration différente lorsque le radiogoniomètre est censé couvrir un nombre de quadrants moins important.

<sup>4</sup> En pratique, cela peut être difficile à réaliser avec certains signaux ou certains types de modulation, en présence de plusieurs signaux occupant la même gamme de fréquences. Il convient d'éviter ces situations et, lorsque cela n'est pas possible, on pourra ajouter une note d'exception.

<sup>5</sup> D'un commun accord entre les administrations et les fabricants, on pourra spécifier des essais de certains types de signaux modulés.

### 3 Méthode de mesure

Le véhicule d'essai est conduit vers le premier emplacement. Le système GPS devrait être utilisé pour déterminer le lieu avec précision, ce qui permettra de calculer le relèvement exact entre le système de radiogoniométrie et l'émetteur d'essai. L'azimut de l'émetteur d'essai par rapport à la station de radiogoniométrie (azimut vrai) doit être réglé avec une précision d'au moins  $0,1^\circ$  en valeur quadratique moyenne ou un dixième de la précision de radiogoniométrie estimée, selon la valeur la plus contraignante, pour un niveau de confiance de 95%.

Le niveau de signal de l'émetteur d'essai doit être ajusté pour que le champ du signal émis, tel que reçu au niveau de l'antenne de radiogoniométrie, affiche un rapport signal/bruit de 20 dB ou plus, à moins que l'administration et le fabricant ne se soient mis d'accord pour effectuer l'essai à un rapport signal/bruit équivalent à la puissance de signal minimale annoncée par le fabricant pour laquelle le niveau de précision spécifié est atteint. De plus, avant d'allumer l'émetteur d'essai, il convient de vérifier que la fréquence choisie est «libre», autrement dit qu'aucun autre signal ne sera reçu à l'emplacement du radiogoniomètre.

Ensuite, le relevé de l'azimut du système de radiogoniométrie est effectué et saisi dans les tableaux de données. L'essai doit être répété aux différentes fréquences. Lorsque toutes les mesures ont été réalisées sur un même lieu, le véhicule d'essai se rend à l'emplacement suivant, et l'opération de mesure est répétée. Cette procédure est réitérée jusqu'à ce que toutes les mesures aient été réalisées à tous les azimuts retenus<sup>6</sup>.

Outre les mesures de l'émetteur d'essai, les relèvements des «cibles d'opportunité» choisies sont effectués et les résultats sont saisis dans le tableau, avec les relèvements réels calculés. Dans le cas des essais relatifs aux cibles d'opportunité, le rapport signal/bruit reçu et la modulation du signal sont saisis dans le tableau.

Le Tableau 1 est un exemple d'un tel tableau de résultats; on utilise un tableau pour les signaux non modulés (en ondes entretenues) et, pour les cibles d'opportunité, un tableau analogue auquel on ajoute des colonnes pour le rapport signal/bruit et la modulation du signal.

---

<sup>6</sup> Ce type d'essai répété peut être réalisé efficacement au moyen d'un logiciel qui commande l'émetteur et le système de radiogoniométrie, recueille les résultats et les consigne.

TABLEAU 1

## Tableau des données obtenues avec l'échantillon testé

Modulation du signal \_\_\_\_\_ Polarisation du signal \_\_\_\_\_

Indice	Réel	Fréquence 1		Fréquence 2		Fréquence 3		Fréquence 4		Fréquence M	
	Azimut	Radio-gonio-mètre	$\Delta$								
1	1°										
2	28°										
3	77°										
16	354°										

Il est à noter que  $\Delta$  est l'erreur de relèvement pour chaque mesure, calculée comme étant la différence entre l'azimut réel et le relèvement affiché sur l'équipement de radiogoniométrie.

#### 4 Analyse des données d'essai

Si les mesures ont été effectuées sur le site d'exploitation réel dans le cadre des essais de réception, chaque valeur du tableau de résultat est requise. L'utilisateur pourra s'appuyer sur ces valeurs pour élaborer des tables de correction plus complètes, qui permettront de corriger les erreurs de relèvement ultérieurement<sup>7</sup>.

Si les mesures ont été faites dans le cadre d'«essais opérationnels en usine», les mesures du radiogoniomètre peuvent être moyennées pour produire un résultat composite pour chaque combinaison d'azimut, de fréquence et, le cas échéant, de modulation, en rejetant 10% au plus des mesures au titre de «données aberrantes».

La valeur efficace ou quadratique moyenne de l'erreur de relèvement,  $\Delta_{RMS}$ , pour chaque gamme de fréquences se calcule à partir des échantillons moyennés (après rejet des valeurs aberrantes) selon la formule suivante:

$$\Delta_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta_i^2}$$

où:

$N$ : nombre de mesures.

Pour garantir la fiabilité des résultats, il faut observer les conditions ci-dessous:

<sup>7</sup> Il sera nécessaire de tester des angles et des fréquences supplémentaires pour créer des tables de correction valables pour un système installé.

- a) Il est possible d'écarter jusqu'à 10% des échantillons des mesures effectuées sur la gamme du radiogoniomètre dans la zone de couverture (angles d'azimut) pour tenir compte des problèmes de mise en œuvre, pour autant qu'il existe un procédé ou une procédure adaptée pour écarter les données de ce type.
- b) La précision déclarée du système de radiogoniométrie doit être la valeur quadratique moyenne calculée de tous les points de données, à l'exception de ceux qui ont été écartés. Les données écartées doivent être consignées dans le rapport d'essai.

## 5 Considérations additionnelles concernant les mesures de radiogoniométrie en ondes décamétriques

La mesure de la précision des radiogoniomètres fonctionnant en ondes décamétriques est associée à plusieurs contraintes supplémentaires:

- Les longueurs d'onde décamétriques imposent d'importantes distances entre les émetteurs et les récepteurs, mais la distance entre l'émetteur d'essai et le système de radiogoniométrie doit respecter les conditions du champ lointain;
- le niveau du bruit atmosphérique n'est pas maîtrisable (il dépend de l'activité solaire, du fait que la mesure est effectuée de jour ou de nuit, et d'autres variables). Etant donné qu'il est souvent nettement plus élevé que le bruit produit par le système de radiogoniométrie, il peut être difficile de respecter l'exigence d'un rapport signal/bruit minimum de 20 dB.

Les mesures de la précision des radiogoniomètres en ondes décamétriques devraient généralement être les mêmes que pour les radiogoniomètres en ondes métriques/décimétriques à ceci près que:

- l'émetteur pourrait être un véritable émetteur de radiodiffusion avec des caractéristiques connues (azimut, niveau);
- l'émetteur pourrait être un émetteur en ondes décamétriques placé à bord d'un véhicule à une position connue à une distance située dans le champ lointain;
- le nombre d'azimuts testés peut être limité en raison de facteurs géographiques ou autres;
- le type de tests décrit dans le présent document ne porte que sur la précision des systèmes de radiogoniométrie d'onde de sol en ondes décamétriques, et d'autres types d'essais seraient nécessaires pour évaluer les signaux ionosphériques.

## 6 Exemple de résultats de test

Les résultats de test devraient être présentés en fonction de la gamme de fréquences physiques des antennes de radiogoniométrie, et, dans le cas des cibles d'opportunité, en fonction du type de modulation du signal de test, de la largeur de bande de radiogoniométrie et d'autres éléments de configuration.

Si on considère un système de radiogoniométrie fonctionnant avec deux ensembles d'antennes, on peut définir les points d'essai suivants comme étant l'essai minimum conforme à cette norme:

- a) Antenne dans la gamme comprise entre 80 MHz et 1 300 MHz.
  - 8 points azimutaux, bien répartis sur 360°.
  - 13 points de fréquence, 2 points sur la première décade de la gamme opérationnelle (80 MHz et 90 MHz), 9 points sur la deuxième décade (entre 100 MHz et 900 MHz), plus 2 points pour parachever la gamme sur la troisième décade (1 000 MHz et 1 300 MHz).
  - $N_t = 8 \times 13 = 104$  essais pour chaque porteuse non modulée.

- $N_0$  = nombre d'essais effectués sur des modulations analogiques et numériques provenant de cibles d'opportunité.
  - Total  $N = N_t + N_0$
- b) Antenne dans la gamme comprise entre 1 300 MHz et 3 000 MHz.
- 8 points azimutaux, bien répartis sur  $360^\circ$ .
  - 5 points de fréquence au minimum, étant donné que la gamme ne comprend pas de décade logarithmique complète (1 300, 1 640, 1 980, 2 320, 2 660, 3 000 MHz).
  - $N_t = 8 \times 5 = 40$  essais pour chaque porteuse non modulée.
  - $N_0$  = nombre d'essais effectués sur des modulations analogiques et numériques provenant de cibles d'opportunité.
  - Total  $N = N_t + N_0$

Le Rapport établi selon les données d'essai opérationnelles indique:

- Précision de radiogoniométrie:  $\leq 2,5^\circ$  en valeur quadratique moyenne (de 80 MHz à 1 300 MHz, mesures effectuées conformément à la Recommandation UIT-R SM.2097-0);
  - Précision de radiogoniométrie:  $\leq 2,0^\circ$  en valeur quadratique moyenne (de 1 300 MHz à 3 000 MHz, mesures effectuées conformément à la Recommandation UIT-R SM.2097-0)
-