

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

(2007)

Résumé

Le présent Rapport décrit les procédures de mesure à utiliser pour déterminer les paramètres techniques des récepteurs et des systèmes de contrôle du spectre; il ne décrit pas toutes les solutions possibles ni automatiquement la solution la meilleure pour déterminer un paramètre.

Le présent Rapport décrit la vérification dans une section des paramètres essentiels d'un récepteur de contrôle et, dans une autre, des paramètres techniques des stations de contrôle et autres systèmes connexes tels que les radiogoniomètres. Les contenus de l'une et l'autre section peuvent se chevaucher et même porter le même titre, mais ils devraient être considérés comme différents.

La subdivision en paramètres essentiels et en paramètres de stations est due au fait que les récepteurs de contrôle du spectre peuvent être achetés en tant que dispositifs séparés, ou bien en tant que parties intégrantes d'un système, auquel cas il peut parfois ne pas être possible d'en déterminer les paramètres.

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1 Introduction	2
2 Paramètres essentiels des récepteurs	2
2.1 IP ₂ /IP ₃	2
2.2 Sensibilité	4
2.3 Valeur du bruit du récepteur	4
2.4 Caractéristiques des filtres IF	4
2.5 Vitesse de balayage du récepteur	6
2.6 Paramètres essentiels pour les récepteurs DF	6
3 Procédure de contrôle et de mesure des paramètres des stations DF	6
3.1 Mesures IP ₂ /IP ₃ : station de contrôle et station DF	7
3.2 Mesure de la sensibilité des stations de contrôle et de radiogoniométrie	10
3.3 Paramètres essentiels pour les stations de radiogoniométrie	19

1 Introduction

Le Manuel de l'UIT-R – Contrôle du spectre (Edition de 2002) contient les spécifications types des récepteurs de contrôle du spectre et des radiogoniomètres/stations de contrôle, mais ne précise pas les procédures de mesure à utiliser pour en déterminer les paramètres. Par ailleurs, il n'aborde pas les spécifications de systèmes complexes, comme celui d'une station de contrôle/de radiogoniométrie complète construite autour d'un récepteur de contrôle du spectre.

NOTE 1 – Le Manuel de l'UIT-R – Contrôle du spectre vise à établir non une norme, mais des orientations en ce qui concerne tous les aspects du contrôle du spectre.

Le présent Rapport établit les paramètres essentiels qui correspondent aux récepteurs et les paramètres qui correspondent aux stations. Les paramètres en question peuvent être déterminés soit par le fabricant, soit par l'utilisateur final.

2 Paramètres essentiels des récepteurs

2.1 IP₂/IP₃

Les récepteurs de contrôle du spectre sont appelés à fonctionner dans un environnement mêlant signaux forts et signaux faibles, de sorte qu'une de leurs propriétés importantes est de pouvoir traiter ces signaux simultanément, sans distorsion. Cette propriété est appelée la linéarité du récepteur; une façon de la quantifier est d'utiliser les valeurs IP₂ et IP₃.

Bien que ce soit la partie frontale du récepteur qui contribue le plus aux valeurs IP_2 et IP_3 , les filtres des amplificateurs IF, dans le cas d'un récepteur de contrôle numérique, et tout autre amplificateur influent sur ces valeurs. Il conviendrait en conséquence de tenir compte de tous ces éléments lorsqu'on veut mesurer les valeurs IP_2 et IP_3 . Pour ce faire, on injecte deux signaux à l'entrée du récepteur dont on mesure la réponse. En cas de non-linéarité, les deux signaux injectés génèrent des produits dont le niveau est une indication de la non-linéarité du récepteur. Indépendamment de la linéarité du récepteur lui-même, les valeurs IP_2 et IP_3 mesurées dépendent en outre de:

- la différence de fréquence et de niveau entre les deux signaux d'essai appliqués;
- les fréquences test retenues.

2.1.1 Principe du calcul du produit d'intermodulation de second ordre

Deux signaux test ayant la même puissance quadratique (Pin) aux fréquences f_1 et f_2 ($f_1 < f_2$) sont injectés à l'entrée de l'antenne du récepteur de contrôle. En cas de non-linéarité, deux produits d'intermodulation aux fréquences f_3 et f_4 peuvent apparaître:

$$f_3 = f_2 - f_1 \text{ et } f_4 = f_2 + f_1$$

Ces fréquences peuvent également s'exprimer au moyen du paramètre Δf (différence de fréquences), qui dépend du type de mesure:

$$f_1 = f_3 + \Delta f \text{ et } f_2 = 2 \times f_3 + \Delta f, \text{ avec } \Delta f = 2 \times f_1 - f_2$$

Le produit d'intermodulation de second ordre en entrée est ensuite calculé:

$$IP_2 = Pin + a$$

où:

- IP_2 : produit d'intermodulation de second ordre à l'entrée du récepteur de contrôle testé
- Pin : puissance quadratique (dBm) des deux signaux test injectés
- a : différence (dB) entre le niveau des signaux test et celui du produit d'intermodulation le plus élevé à l'entrée.

2.1.2 Principe du calcul du produit d'intermodulation de troisième ordre

Deux signaux d'essai ayant la même puissance quadratique (Pin) aux fréquences F_1 et F_2 ($F_1 < F_2$) sont injectés à l'entrée de l'antenne du récepteur de contrôle. En cas de non-linéarité, deux produits d'intermodulation aux fréquences F_3 et F_4 peuvent apparaître:

$$f_3 = [(2 \times f_1) - f_2] \text{ et } f_4 = [(2 \times f_2) - f_1].$$

Ces fréquences peuvent également s'exprimer au moyen du paramètre Δf (différence de fréquences), qui dépend du type de mesure:

$$f_1 = f_3 + \Delta f \text{ et } f_2 = f_3 + 2 \times \Delta f, \text{ avec } \Delta f = f_2 - f_1$$

Les produits d'intermodulation de troisième ordre peuvent ensuite être calculés:

$$IP_3 = Pin + a/2$$

où:

- IP_3 : produit d'intermodulation de troisième ordre à l'entrée du récepteur de contrôle testé
- P_{in} : puissance quadratique (dBm) des deux signaux test injectés
- a : différence (dB) entre le niveau des signaux test injectés et celui des produits d'intermodulation les plus élevés à l'entrée.

2.2 Sensibilité

La sensibilité d'un récepteur de contrôle du spectre est la tension de signal minimale (μV) à l'entrée du récepteur de contrôle qui permet la démodulation et l'écoute audible du signal reçu.

Le niveau minimum du signal audible peut se déterminer à l'aide d'un rapport signal/bruit incluant une mesure de bruit et de distorsion (SINAD).

2.3 Valeur du bruit du récepteur

La valeur de bruit est l'une des principales spécifications d'un récepteur de contrôle. Etroitement liée à la sensibilité du récepteur, elle est le facteur suivant lequel la puissance de bruit fournie par le récepteur de contrôle augmente lorsqu'on lui applique un bruit de référence; la valeur de bruit se mesure à l'entrée du récepteur de contrôle.

La valeur de bruit d'un récepteur de contrôle peut se mesurer selon:

- la méthode du gain;
- la méthode du "facteur Y" (avec diode de bruit);
- la méthode de sensibilité.

2.4 Caractéristiques des filtres IF

Pour la plupart des applications de contrôle et de mesure, il importe de connaître la forme, la largeur de bande et la qualité des différents filtres IF. On utilise essentiellement les quatre paramètres ci-après pour décrire les caractéristiques des filtres IF.

2.4.1 Largeur de bande IF

Il s'agit de la largeur de bande correspondant à la distance entre les points -3 dB et -6 dB du filtre IF du récepteur.

2.4.2 Ondulation dans la bande passante du filtre IF et asymétrie

La spécification de l'ondulation dans la bande passante dépend du fabricant. Il y a essentiellement deux méthodes, chacune présentant un avantage pour le filtrage soit numérique, soit analogique. Pour les filtres analogiques, on utilise la valeur de crête à crête puisqu'il n'y a pas de coupure, la distribution des ondulations n'étant pas uniforme; pour les filtres numériques, on utilise une valeur de crête à moyenne à cause de la présence des coupures, la distribution des ondulations étant uniforme (voir la Fig. 1).

FIGURE 1
Exemples d'ondulations dans la bande passante du filtre

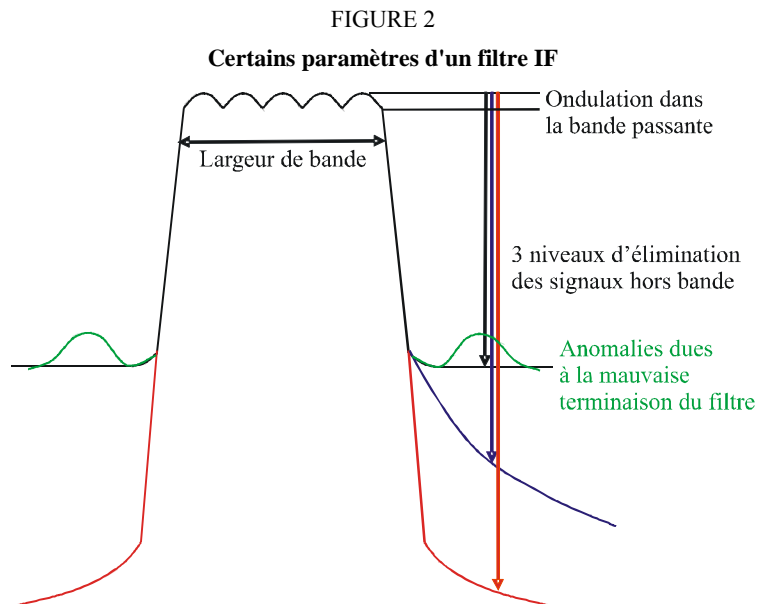


2.4.3 Courbe dans la bande passante des filtres IF et élimination des signaux hors bande

L'élimination des signaux hors bande concerne les signaux se situant très loin des bords du filtre, à une certaine distance de son centre. Selon la réalisation du filtre, mais également selon son montage et sa terminaison, on peut obtenir différentes valeurs pour différents récepteurs. Ce paramètre est particulièrement important pour les récepteurs dotés de filtres numériques où l'élimination des signaux hors bande dépend des convertisseurs utilisés; cette élimination peut dépendre de la distance de mesure effective par rapport à la fréquence centrale du filtre à cause d'anomalies dues à la mauvaise terminaison de ce dernier.

2.4.4 Facteur de forme des filtres IF

Le facteur de forme est le rapport entre la largeur de bande de n dB et la largeur de bande de -6 dB. Le facteur n doit être précisé, par exemple $n = 60$ dB ou $n = 50$ dB. Il convient de l'indiquer pour chaque filtre (voir la Fig. 2).



Rap 2125-02

2.4.5 Temps de propagation de groupe des filtres IF

Le temps de propagation de groupe est la différence mutuelle en temps qu'il faut à un certain nombre de signaux pour traverser le filtre IF d'un récepteur.

Dans un filtre idéal, tous les signaux appliqués à différentes positions de fréquence à l'intérieur du filtre IF mettent le même temps à se propager, de sorte que la différence de phase entre les signaux est identique à l'entrée et à la sortie du filtre. Le temps de propagation de groupe peut également être appelé linéarité de phase du filtre.

Le temps de propagation de groupe est élevé principalement à proximité des bords de la bande passante du filtre, mais dans les filtres d'ordre élevé il est également important à l'intérieur de la bande passante. De manière approximative, on peut dire que les filtres à bande étroite et les filtres à facteur de forme peu important (bords du filtre à pente abrupte) ont un temps de propagation de groupe plus élevé, d'où une moindre qualité de fonctionnement. A ce niveau, il n'existe fondamentalement aucune différence entre les filtres numériques et les filtres analogiques.

Quelle en est la conséquence pour l'utilisateur d'un récepteur de contrôle? Les filtres large bande à bords abrupts étant utilisés dans des récepteurs pour démoduler les signaux numériques, les démodulateurs de phase particulièrement présentent une moindre qualité de fonctionnement si le temps de propagation de groupe du filtre est trop élevé. Par ailleurs, si ce temps de propagation est très élevé, l'opération de contrôle à l'oreille peut être pénible: les signaux sont déformés et bruyants. Dans un récepteur de contrôle polyvalent, le temps de propagation de groupe devrait se situer à l'intérieur de certaines limites pour chaque filtre IF.

Pour mesurer le temps de propagation de groupe d'un filtre on peut utiliser un analyseur de réseau et balayer la bande passante du filtre, puis enregistrer les changements du comportement en phase/fréquence. Le temps de propagation de groupe s'exprime en unités de temps (microsecondes, nanosecondes).

2.5 Vitesse de balayage du récepteur

La vitesse de balayage est une mesure de la vitesse avec laquelle un récepteur peut donner des valeurs du niveau des signaux pour un certain nombre de fréquences à l'intérieur d'une bande de fréquences donnée. Elle se mesure en MHz par seconde.

La vitesse de balayage comprend l'effet des éventuels temps de commutation de bandes, le temps de retour en fin de balayage, le temps d'établissement de l'oscillateur et l'éventuel temps de calcul. En d'autres termes, le paramètre de la vitesse de balayage peut être utilisé pour calculer la période de réobservation. On peut, à titre facultatif, dresser séparément une liste des différents éléments affectant la vitesse de balayage, ce qui permettra aux utilisateurs de déterminer la période de réobservation pour n'importe quelle gamme de fréquences donnée.

2.6 Paramètres essentiels pour les récepteurs DF

Selon les paramètres que l'on veut mesurer, le récepteur de radiogoniométrie (DF) est considéré comme un récepteur de contrôle, ou comme une chaîne de réception de stations DF, auquel cas ce sont les paramètres correspondants qui sont mesurés.

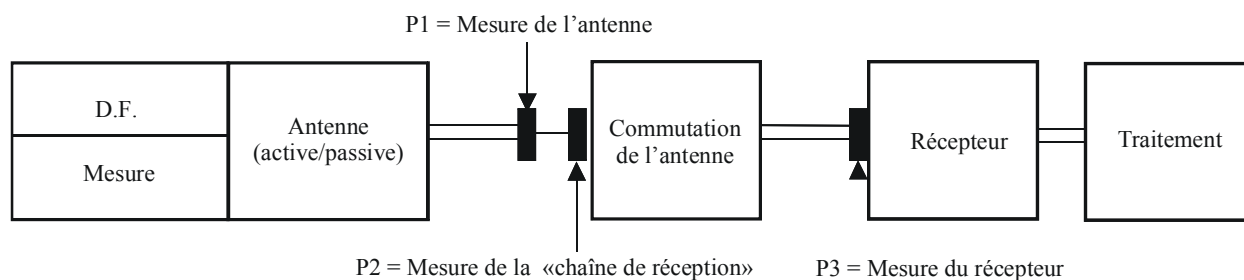
3 Procédure de contrôle et de mesure des paramètres des stations DF

A la Fig. 3 est représenté le diagramme type d'une station de contrôle du spectre (ainsi que d'une station de radiogoniométrie).

Plusieurs points de mesure peuvent être déterminés pour caractériser l'antenne (P1), la chaîne de réception (P2) ou le récepteur (P3).

FIGURE 3

Schéma d'une station de contrôle du spectre/radiogoniométrie dans la gamme des ondes décamétriques, métriques et décimétriques



Rap 2125-03

L'antenne se compose en général d'un certain nombre d'antennes élémentaires (dipôles ou autres), lesquelles peuvent contenir des amplificateurs commutables, des cellules d'adaptation, etc., tous éléments qui font partie intégrante de l'antenne s'ils sont associés à une seule antenne élémentaire.

Par contre, on ne considère pas comme parties intégrantes de l'antenne les commutateurs d'antenne qui servent à choisir plusieurs antennes élémentaires (radiogoniométrie ou contrôle du spectre); ils constituent plutôt l'ensemble de commutation de l'antenne de la chaîne de réception. De même, ne sont pas considérés comme parties de l'antenne, mais comme parties de la chaîne de réception, les amplificateurs, les filtres qui sont communs à plusieurs antennes élémentaires ainsi que les éléments de changement de fréquences ou de transposition.

Les paragraphes ci-dessous décrivent les opérations de mesure de l'antenne (P1) et de la chaîne de réception (P2), celles concernant les récepteurs de contrôle du spectre (P3) étant exposées au § 3.2.

Les câbles dont est pourvue la station (et la chaîne de réception) sont représentatifs d'une station opérationnelle, c'est-à-dire que:

- pour une station mobile, les câbles utilisés pour les tests auront une longueur de 10 m;
- pour une station fixe, les câbles utilisés pour les tests auront une longueur de 20 m.

3.1 Mesures IP_2/IP_3 : station de contrôle et station DF

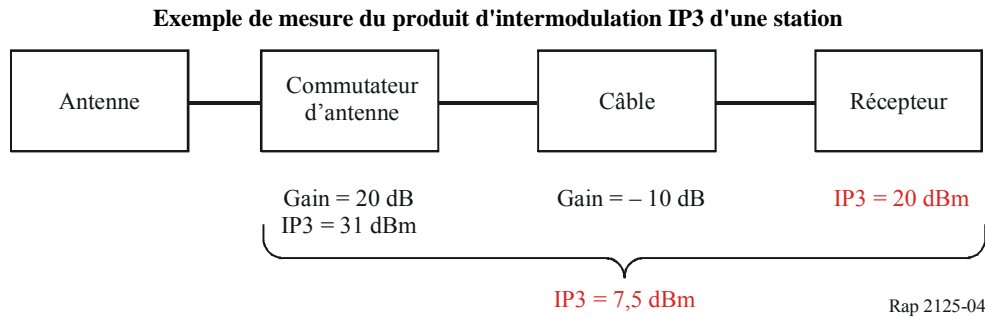
Les mesures d'intermodulation dépendent des conditions dans lesquelles elles sont réalisées. Pour que les utilisateurs finals puissent comparer la qualité de fonctionnement des récepteurs de contrôle du spectre et les performances des stations de contrôle et des stations DF, il faut spécifier les procédures à utiliser pour mesurer les produits d'intermodulation de second ordre (IP_2) et de troisième ordre (IP_3).

Ces produits d'intermodulation de deuxième et de troisième ordres sont générés à tous les niveaux d'une station de contrôle du spectre ou d'une station DF, c'est-à-dire: à celui des antennes (de radiogoniométrie et/ou réception), à celui des commutateurs d'antennes et des câbles, et à celui du récepteur.

Pour pouvoir comprendre les phénomènes issus de l'intermodulation, il faut donc connaître l'intermodulation que produit la station de contrôle complète.

Dans l'exemple illustré à la Fig. 4, le produit IP_3 du récepteur est de 20 dBm, mais ce même produit IP_3 mesuré à la sortie de l'antenne est ramené à 7,5 dBm. Cet exemple montre que la qualité de fonctionnement du récepteur ne reflète pas nécessairement la qualité de fonctionnement de la station.

FIGURE 4



Les antennes peuvent générer des produits d'intermodulation qui doivent être caractérisés; en effet, ces non-linéarités sont produites par les éléments actifs et/ou les transformateurs correspondants. Une mesure donnera donc la valeur des produits d'intermodulation IP_2 et IP_3 à la sortie des antennes (P1).

Les valeurs des produits d'intermodulation IP_2 et IP_3 de la chaîne de réception sont mesurées sur la station complète, sans son antenne, et sont données à l'entrée de la chaîne de réception (P2).

Quant aux mesures des produits IP_2 et IP_3 du récepteur de contrôle du spectre, elles sont abordées au § 2.1.

3.1.1 Mesures des produits IP_2 et IP_3 au niveau de l'antenne

Les signaux tests sont appliqués par une antenne d'émission.

La principale différence par rapport à la procédure applicable au récepteur est que la mesure de référence est la sortie de l'antenne, de sorte que les formules sont légèrement différentes.

Le produit d'intermodulation de second ordre à la sortie de l'antenne est alors calculé:

$$IP_{2S} = P_{out} + a$$

où:

- IP_{2S} : produit d'intermodulation de second ordre à la sortie de l'antenne
- P_{out} : puissance quadratique (dBm) des deux signaux tests injectés mesurés à la sortie de l'antenne
- a : différence (dB) entre le niveau des signaux tests injectés et celui des produits d'intermodulation les plus élevés à la sortie.

Le produit d'intermodulation de troisième ordre à la sortie de l'antenne est ensuite calculé:

$$IP_{3S} = P_{out} + a/2$$

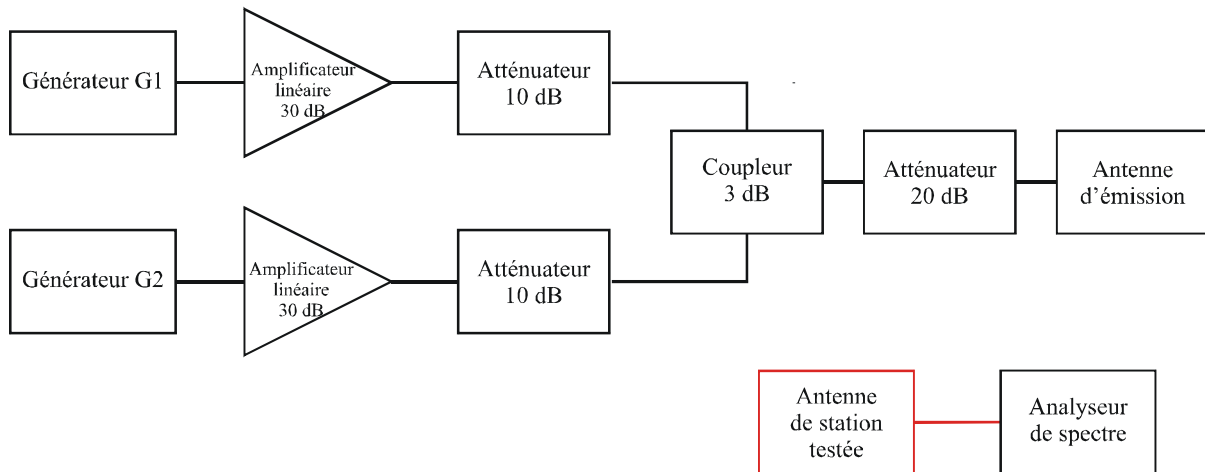
où:

- IP_{3S} : produit d'intermodulation de troisième ordre à la sortie de l'antenne
- P_{out} : puissance quadratique (dBm) des deux signaux tests injectés mesurés à la sortie de l'antenne
- a : différence (dB) entre le niveau des signaux tests injectés et celui des produits d'intermodulation les plus élevés à la sortie.

On mesure les signaux disponibles à la sortie de l'antenne. Si le signal n'est pas disponible à cause de problèmes d'intégration, on procède aux opérations de mesure sur une antenne de référence identique sur laquelle le signal de sortie sera disponible.

Le montage utilisé pour les mesures qui est illustré ci-dessous dans la Fig. 5 (antenne d'émission comprise) présente une qualité de fonctionnement supérieure à celle mesurée pour un récepteur de contrôle. Les produits d'intermodulation ont une valeur de 10 dB supérieure aux produits d'intermodulation mesurés.

FIGURE 5

Dispositif de mesures des produits IP_2/IP_3 au niveau de l'antenne

Rap 2125-05

La mesure de niveau doit être réalisée avec une précision supérieure à 1 dB.

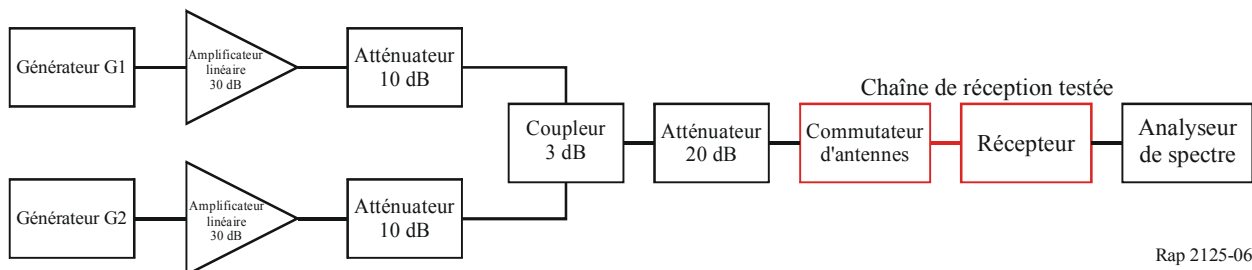
3.1.2 Mesure des produits IP_2 et IP_3 de la chaîne de réception

On appliquera le même principe que pour les opérations de mesure au niveau du récepteur de contrôle décrit au point 2.1.

Ce principe s'applique non seulement aux stations de contrôle mais également aux stations DF. S'il existe plusieurs canaux, on peut n'en utiliser qu'un pour le test.

La mesure s'applique aux stations aussi bien de contrôle du spectre que de radiogoniométrie. La Fig. 6 ci-dessous illustre une proposition de montage.

FIGURE 6

Dispositif en vue d'une mesure des produits IP_2/IP_3 au niveau de la chaîne de réception

Rap 2125-06

La mesure doit être réalisée avec une précision supérieure à 1 dB.

3.2 Mesure de la sensibilité des stations de contrôle et de radiogoniométrie

Lorsqu'elles sont réalisées au niveau d'une station de contrôle du spectre ou de radiogoniométrie, les mesures peuvent subir l'influence de l'environnement radioélectrique; en effet, lors de la réception d'un signal de faible intensité, proche de la limite de sensibilité de la station, elles peuvent être perturbées par des réflexions sur des obstacles situés à proximité, par le bruit ambiant ou autres signaux radioélectriques.

Lors de la mesure de la sensibilité de la station, il convient de ne pas tenir compte des erreurs pouvant résulter du milieu de propagation, des effets par trajets multiples et des brouillages, de sorte qu'il est difficile de réaliser des mesures de sensibilité dans un site qui n'a pas été préparé à l'avance.

C'est pourquoi on propose les deux environnements d'essai ci-dessous:

- Réalisation des mesures sur une plate-forme utilisant des fréquences déterminées.
- Réalisation des mesures dans un site d'essai à ciel ouvert (OATS, *open air test site*) en utilisant des fréquences particulières garantissant que les mesures ne seront pas perturbées par des réflexions sur des obstacles situés à proximité, du bruit ambiant ou autres signaux radioélectriques.

Les résultats des mesures réalisées selon le premier environnement sont publiés par les fabricants, alors que les mesures effectuées dans un site OATS sont utilisées pour confirmer les premières.

On mesurera la sensibilité en ondes myriamétriques, kilométriques et décamétriques dans un site OATS pour les raisons suivantes:

- A cause de leurs longueurs d'ondes, les signaux dans ces gammes d'ondes imposent de grandes distances d'émission/réception.
- Il est difficile de lutter contre le brouillage dû au bruit atmosphérique (qui dépend de l'activité des tâches solaires, de l'heure du jour, etc.).

La sensibilité des stations en ondes myriamétriques, kilométriques et décamétriques (de 9 kHz à 30 MHz) sera donc mesurée uniquement sur une plate-forme, tandis que la sensibilité des stations en ondes métriques et décimétriques sera mesurée aussi bien sur une plate-forme que dans un site OATS.

3.2.1 Principe de la mesure de la sensibilité sur une plate-forme

Afin de caractériser la sensibilité d'une station de contrôle du spectre, il convient de réaliser trois grandes mesures, à savoir:

- Caractérisation du **facteur d'antenne** (voir la Fig. 3 – Point de mesure P1).
- Caractérisation de la **valeur plancher du bruit d'antenne** (voir la Fig. 3 – Point de mesure P1).
- Caractérisation de la **sensibilité de la chaîne de réception** (voir la Fig. 3 – Point de mesure P2).

La mesure de la sensibilité sur une plate-forme se subdivise par conséquent en trois:

- Une mesure du facteur d'antenne, pour être à même de déterminer la puissance fournie par l'antenne en fonction du champ reçu (voir le § 3.2.1.1).
- Une mesure de la valeur plancher du bruit de l'antenne, qui caractérise la contribution de l'antenne au bruit de la station (voir le § 3.2.1.2).
- Une mesure de la sensibilité de la chaîne de réception (voir le § 3.2.1.3 pour la station de contrôle et le § 3.2.1.4 pour la station de radiogoniométrie).

Pour calculer la sensibilité d'une station avec le facteur d'antenne, la valeur plancher du bruit de l'antenne et la sensibilité de la chaîne de réception, il faut procéder en deux étapes, comme suit.

La première consiste à calculer la contribution de l'antenne au bruit de la station:

$$NFa = 10 \times \log \left[10^{\left(\frac{174 + Nfloor}{10} \right)} + 10^{\left(\frac{NFrc}{10} \right)} - 1 \right] - NFrc$$

où:

- NFa*: contribution de l'antenne au bruit de la station (dB)
- NFrc*: facteur de bruit pour la chaîne de réception de la station (dB)
- Nfloor*: valeur plancher du bruit de l'antenne en dBm/Hz (mesurée – voir le § 3.2.1.2).

La procédure de mesure du facteur de bruit pour la chaîne de réception (voir la Fig. 3 – Point de mesure P2) est exactement identique à celle appliquée pour mesurer le facteur de bruit du récepteur.

La deuxième étape consiste à calculer la sensibilité, comme suit:

$$S = AF + Src + NFa$$

où:

- S*: sensibilité de la station (dBμV/m)
- AF*: facteur d'antenne (dBμV/m) (mesuré – voir le § 3.2.1.1)
- Src*: limite de sensibilité de la chaîne de réception de la station (dBm) (voir les § 3.2.1.3 et 3.2.1.4)
- NFa*: contribution de l'antenne au bruit de la station (dB), calculée comme ci-dessus.

NOTE 1 – Si l'antenne ou l'antenne de sous-bande est passive, la contribution de bruit de l'antenne peut-être considérée comme nulle, la sensibilité de la station étant alors égale à:

$$S = AF + Src$$

3.2.1.1 Facteur d'antenne

Le facteur d'antenne est défini au § 4.3.1.1.1 du Manuel de l'UIT-R – Contrôle du spectre (édition 2002). Le facteur d'antenne d'une antenne de réception est l'intensité de champ électrique d'une onde plane divisée par la tension électrique (*V0*) de l'antenne à sa résistance de charge nominale (normalement 50 Ω):

$$AF = E - V0$$

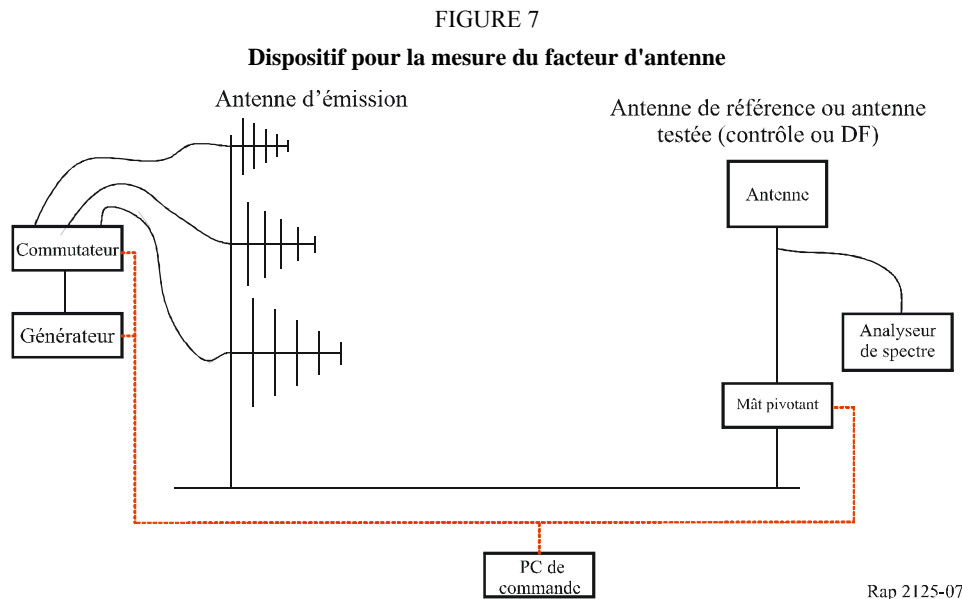
où:

- AF*: facteur d'antenne (dB/m);
- E*: champ électrique (dBμV/m);
- V0*: tension de sortie à 50 Ω (dBμV).

Le facteur d'antenne se mesure en deux étapes:

- on mesure le champ reçu par l'antenne de référence;
- on mesure la tension fournie par l'antenne testée (antenne de contrôle du spectre ou de radiogoniométrie).

Le principe est de produire un champ homogène connu au niveau de l'antenne testée, et de mesurer la tension à la sortie de l'antenne. La Fig. 7 ci-dessous propose un dispositif à cette fin.



Pour les antennes dont on ne connaît pas le centre de phase (par exemple antenne log-périodique) et pour lesquelles les distances d'essai retenues sont courtes (chambre anéchoïque), il est recommandé d'utiliser un analyseur de réseau pour déterminer le centre de phase exacte. On notera que le centre de phase de l'antenne de référence et celui de l'antenne testée devraient être les mêmes.

Le calcul du facteur d'antenne dépend du type d'antenne:

$$AF_{ant} = AF_{ref} + Lev_{ant} - Lev_{ref}$$

où:

- AF_{ant} : facteur d'antenne de l'antenne de radiogoniométrie ou de contrôle (dB/m);
- AF_{ref} : facteur d'antenne de l'antenne de référence (dB/m)
- Lev_{ant} : tension de sortie de l'antenne de radiogoniométrie à 50Ω (dB μ V)
- Lev_{ref} : tension de sortie de l'antenne de référence (dB μ V).

On choisira l'antenne de référence comme suit:

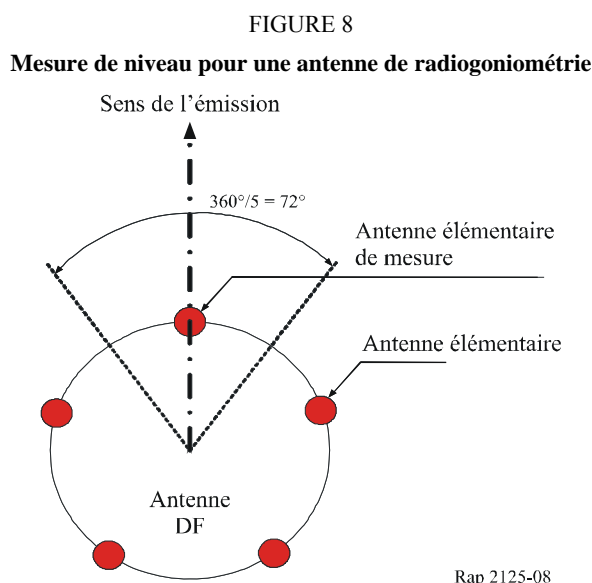
- le nombre d'antennes dépend de la gamme de fréquences à couvrir. La gamme de fréquences de l'antenne testée doit être totalement couverte par les antennes;
- on doit connaître les facteurs d'antenne de l'antenne de "référence" ainsi que sa précision correspondante. Le facteur d'antenne, ou le gain, doit pouvoir être rapporté à une norme nationale ou internationale.

Les pertes des câbles ne sont pas prises en ligne de compte dans les calculs, mais elles doivent être identiques pour les mesures de l'antenne de référence et pour les mesures des antennes testées.

Cas des antennes de radiogoniométrie

Une antenne de radiogoniométrie se compose de N antennes élémentaires, dont chacune à un angle d'ouverture de $360^\circ/N$. La mesure est faite sur cet angle d'ouverture pour une antenne élémentaire.

Par exemple, si une antenne a cinq dipôles élémentaires (voir la Fig. 8), la mesure porte sur 72° .



Faire 10 mesures de niveau sur un angle allant de $-(360^\circ/N)/2$ à $+(360^\circ/N)/2$.

Calculer le signal reçu pour chaque fréquence de mesure:

$$Lev_{ant} = \frac{\sum(N_{mes})}{10}$$

NOTE 1 – Pour des radiogoniomètres Watson-Watt ou Doppler, la méthode ci-dessus ne convient pas parce que la précision dépend de la dimension de l'ensemble du dispositif des antennes.

NOTE 2 – Les câbles et le dispositif de mesure (analyseur de spectre ou station de mesure) doivent être les mêmes pour la mesure de l'antenne de référence que pour la mesure de l'antenne de radiogoniométrie.

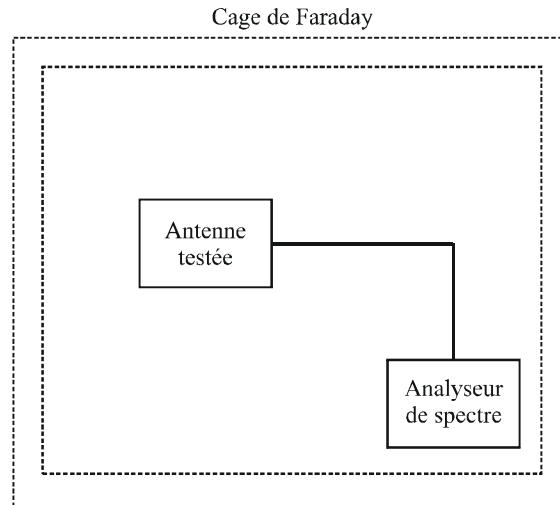
3.2.1.2 Valeur plancher du bruit de l'antenne

Les antennes actives se composent d'éléments alimentés par une tension ou un courant continu; il s'agit d'amplificateurs à transistors, de commutateurs ou autres éléments correspondants. Les éléments actifs génèrent une densité de puissance de bruit qui dégrade la sensibilité du système.

La valeur plancher de bruit se mesure dans une cage Faraday comme il est illustré dans la Fig. 9. Cette valeur (dBm/Hz) est mesurée directement à la sortie de l'antenne, à l'aide d'un analyseur de spectre.

L'antenne est placée dans un environnement électriquement neutre, loin de toute structure susceptible d'affecter son impédance ou son gain. Dans la pratique, on utilisera une chambre cloisonnée, comme une cage Faraday.

FIGURE 9

Dispositif pour la mesure de la densité de puissance du bruit de l'antenne

Rap 2125-09

L'analyseur de spectre doit avoir une valeur plancher de bruit supérieure de 10 dB à la densité de bruit fournie par l'antenne testée. Il peut être nécessaire d'utiliser un amplificateur à faible bruit.

3.2.1.3 Définition de la sensibilité de la chaîne de réception d'une station de contrôle du spectre

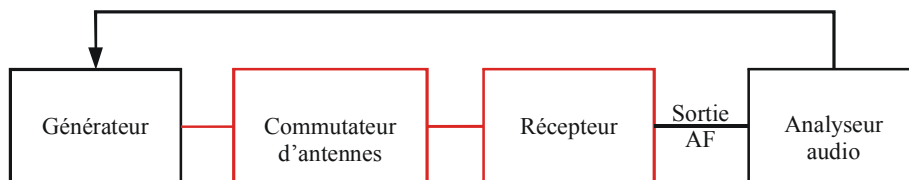
La sensibilité d'une chaîne de réception de contrôle du spectre (*Src*) est définie comme la tension (μV) de signal minimal à l'entrée de la chaîne de réception qui permet de procéder à une démodulation série et à une écoute audio du signal reçu.

La mesure est la même que pour les paramètres des récepteurs de contrôle. Une proposition de dispositif pour cette mesure est illustrée à la Fig. 10.

Le niveau minimum du signal audible est déterminé par une mesure SINAD.

On utilise le générateur pour appliquer les signaux à la chaîne de réception avec les amplitudes voulues.

FIGURE 10

Dispositif pour la mesure de la sensibilité de la chaîne de réception d'une station de contrôle

Rap 2125-010

3.2.1.4 Définition de la sensibilité de la chaîne de réception d'une station de radiogoniométrie

Une meilleure sensibilité étend la couverture d'un radiogoniomètre ou en préserve la précision nécessaire lorsque les signaux sont de faible intensité.

La mesure de la sensibilité se fonde sur la dégradation de la précision du radiogoniomètre lorsque le signal reçu est d'un niveau réduit. A la Fig. 11, il est proposé un dispositif pour cette mesure.

On utilise le générateur pour appliquer les signaux à la chaîne de réception avec les amplitudes et phases voulues.

A cette fin, on raccorde à la chaîne de réception un simulateur d'angle d'arrivée.

FIGURE 11

**Dispositif pour la mesure de la sensibilité de la chaîne de réception
d'une station de radiogoniométrie**



Rap 2125-011

Avec N mesures associées à un signal de forte intensité, calculer l'angle d'arrivée (il doit être stable):

$$\theta_0 = \frac{\sum \theta_n}{N}$$

En réduisant le niveau du signal jusqu'à atteindre l'erreur en azimut:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (\theta_{mes} - \theta_0)^2}{N}}$$

où:

- δ : erreur quadratique entre la mesure à la limite de sensibilité et la mesure avec un signal de forte intensité (en degrés)
- θ_0 : azimut mesuré avec un signal de forte intensité (en degrés)
- θ_{mes} : azimut mesuré pour chaque niveau du générateur (en degrés)
- N : nombre de lectures de l'azimut pour chaque niveau du générateur.

La limite de sensibilité est atteinte quand:

- soit δ est supérieur à $+2^\circ$ en valeur quadratique,
- soit le radiogoniomètre ne donne plus de résultat.

Si l'erreur acceptable en azimut δ est différente de 2° en valeur quadratique dans certaines sous-gammes de fréquences, cette erreur en azimut doit être signalée parallèlement à la sensibilité spécifiée.

On procède aux mesures avec les paramètres suivants:

- on choisit une valeur du temps d'intégration proche de 1 s;
- la largeur de bande choisie doit être aussi proche que possible de 1 kHz.

3.2.2 Principe de mesure de la sensibilité dans un site OATS

Une autre méthode de mesure de la sensibilité est expliquée dans les lignes ci-dessous.

Un site en espace libre, ou OATS, est un site consacré aux mesures d'antenne (gain, diagramme de rayonnement).

Une mesure de la sensibilité d'une station dans un site en espace libre, ou OATS, est réalisée sur l'ensemble de la station. On trouvera à la Fig. 12 la proposition d'un dispositif pour cette mesure.

L'antenne d'émission doit être bidirectionnelle pour être dirigée sur l'antenne de réception; on la choisira pour qu'elle puisse émettre une puissance suffisante sans causer de signaux d'intermodulation ou de rayonnements parasites aux fréquences de mesure.

L'antenne de réception doit être montée sur un mât rotatif, qui permet de la positionner avec précision.

En ce qui concerne la mesure de la sensibilité d'un radiogoniomètre, il faut que le champ reçu par l'antenne soit homogène, c'est-à-dire qu'il doit avoir la même phase sur toute la structure de l'antenne. La distance entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception doit être au moins égale à la longueur d'ondes du signal à mesurer, ou alors on choisit une distance telle que la différence de phase sur l'ensemble de la structure de l'antenne soit inférieure à 5° pour une erreur de radiogoniomètre de moins de $0,5^\circ$.

L'environnement du site doit être choisi de telle sorte que les opérations de mesure ne soient pas perturbées par des réflexions provenant d'obstacles proches, du bruit ambiant ou autres signaux radioélectriques.

Le site doit ainsi être:

- vide de bâtiments;
- dépourvu de surfaces métalliques à proximité;
- dépourvu de routes à proximité, qui pourraient être une source de brouillage de la part de véhicules;
- à une distance suffisante de toute source de brouillage (radiodiffusion, téléphonie mobile, aéroport, etc.);
- à une distance suffisante de sources de bruit telles que lignes haute tension, lignes téléphoniques, etc.

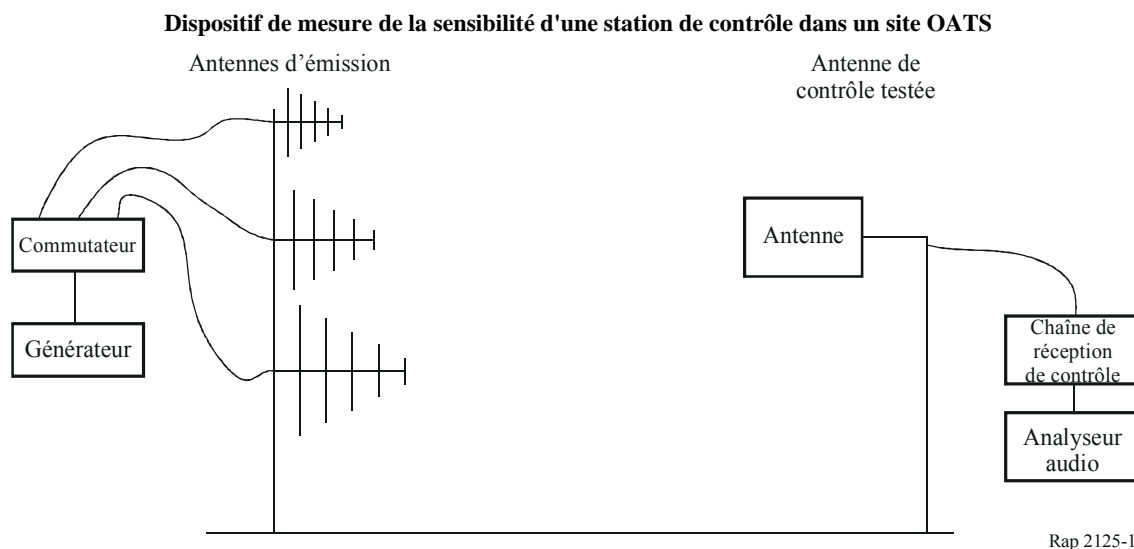
La distance entre l'antenne de réception et l'antenne d'émission doit être supérieure à la taille des antennes.

Les fréquences doivent être choisies à l'intérieur de bandes exemptes de brouillage.

On procède à une vérification des bandes de fréquences occupées et on écarte toute les fréquences pouvant entraîner une perturbation des mesures. On trouvera à la Fig. 13 une proposition de dispositif pour la mesure.

3.2.2.1 Mesure de la sensibilité d'une station de contrôle dans un site OATS

FIGURE 12



Procédure de mesure:

La sensibilité est donnée par l'équation suivante:

$$S = E_0 - (L_1 - L_0)$$

où:

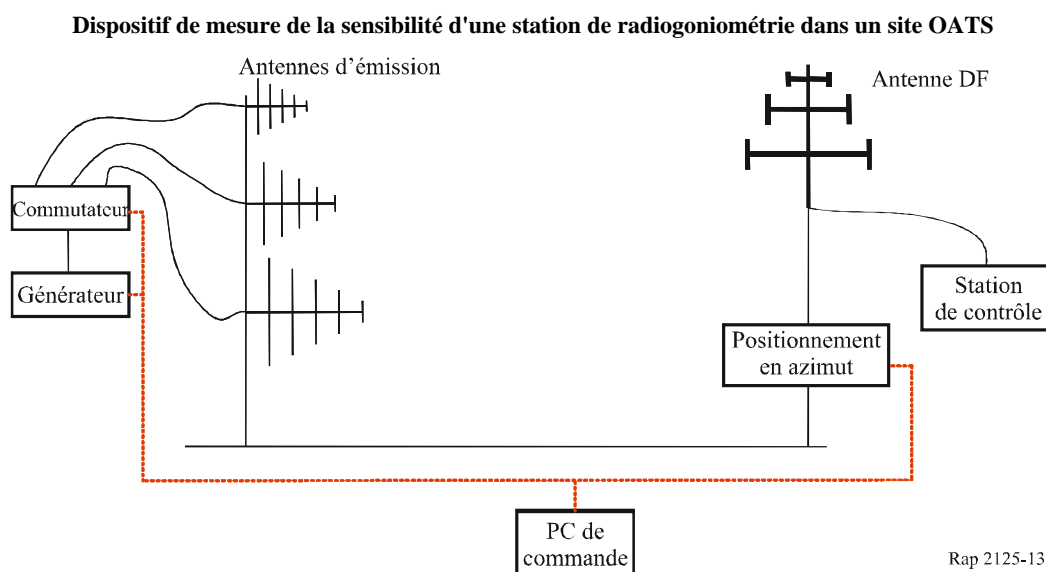
S : sensibilité de l'intensité de champ de la station de contrôle ($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)

E_0 : valeur de l'intensité de champ mesurée ($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)

L_0 : niveau fourni à l'antenne d'émission avec un bon SNR ($\text{dB}\mu\text{V}$)

L_1 : niveau fourni à l'antenne d'émission lorsque la sensibilité est atteinte (en $\text{dB}\mu\text{V}$).

FIGURE 13



3.2.2.2 Conditions de mesure de la sensibilité d'une station de radiogoniométrie en site OATS

Avec N mesures associées à un signal de forte intensité, calculer l'angle d'arrivée (qui doit être stable):

$$\theta_0 = \frac{\sum \theta_n}{N}$$

Noter le niveau du générateur et procéder à une mesure pratique à la position de l'antenne de radiogoniométrie.

Réduire le niveau du signal jusqu'à atteindre l'erreur en azimut:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (\theta_{mes} - \theta_0)^2}{N}}$$

où:

- δ : erreur quadratique entre la mesure à la limite de la sensibilité et la mesure à un niveau élevé (en degrés)
- θ_0 : azimut mesuré avec un niveau élevé (en degrés)
- θ_{mes} : azimut mesuré pour chaque niveau du générateur (en degrés)
- N : nombre de lectures de l'azimut pour chaque niveau du générateur.

La limite de sensibilité est atteinte quand:

- soit δ est supérieur à $+2^\circ$ en valeur quadratique,
- soit le radiogoniomètre ne donne plus de résultat.

Lorsque la limite de sensibilité est atteinte, noter le niveau du générateur L_1 , puis calculer la sensibilité:

$$S = E_0 + L_0 - L_1$$

où:

- S : sensibilité de l'intensité de champ spécifiée de la station (dB μ V/m)
- E_0 : valeur de l'intensité de champ (dB μ V/m)
- L_0 : niveau fourni à l'antenne d'émission (dB μ V) avec un signal de forte intensité
- L_1 : niveau fourni à l'antenne d'émission lorsque la sensibilité est atteinte (dB μ V).

Si l'erreur en azimut acceptable δ diffère de 2° en valeur quadratique dans certaines sous-bandes de fréquences, cette erreur en azimut est signalée ainsi que la sensibilité spécifiée.

3.2.3 Paramètres de la station pour la mesure de sensibilité

Pour reproduire les conditions opérationnelles d'aussi près que possible, on utilisera pendant les mesures les paramètres suivants:

- la CAG du récepteur est coupée;
- tous les amplificateurs des antennes, commutateurs d'antenne et récepteurs, le cas échéant, sont mis à leur amplification maximale;
- tous les atténuateurs des antennes, commutateurs d'antenne et récepteurs, le cas échéant, sont mis à leur affaiblissement minimum.

3.2.4 Présentation des résultats

Les paramètres de mesure visés aux § 3.2.1.4 à 3.2.2.2 doivent être indiqués lors de la fourniture des valeurs de sensibilité.

Ces valeurs sont garanties sur l'intégralité de la bande de fréquences, ou par sous-bande selon les spécifications du fabricant, lequel peut donner une moyenne ou une valeur type.

Le fabricant indiquera d'ailleurs les conditions de calcul de cette moyenne ou de cette valeur type.

Les valeurs indiquées par le fabricant sont:

- la sensibilité de champ de la station de contrôle ($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$) avec les paramètres suivants:
 - type de modulation (A3E ou F3E);
 - largeur de bande du filtre d'analyse (kHz);
 - indice de modulation ou écart en fréquences;
 - SINAD utilisé (dB).
- la sensibilité de champ de la station de radiogoniométrie ($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$) avec les paramètres suivants:
 - temps d'intégration;
 - largeur de bande du filtre d'analyse (kHz).

3.3 Paramètres essentiels pour les stations de radiogoniométrie

3.3.1 Précision DF (angulaire): précision système

Les procédures de mesure de la précision DF ne sont pas évoquées dans le Manuel de l'UIT-R – Contrôle du spectre (Edition 2002), lequel ne décrit que les classes de gisement (Classes A, B, C et D) par rapport à la Recommandation UIT-R SM.854, mais sans aborder la caractérisation des récepteurs DF.

La précision d'un système DF est la valeur efficace ou quadratique de la différence entre l'azimut vrai et le gisement affiché.

Pour mesurer la précision d'un système DF on peut procéder des trois façons suivantes:

- test dans un environnement réel représentant l'environnement opérationnel final;
- mesures sur un site OATS en utilisant des fréquences restreintes grâce auxquelles les mesures ne seront perturbées par aucune réflexion provenant d'obstacles à proximité, de bruit ambiant ou autres signaux radioélectriques;
- mesure sur une plate-forme: la station de radiogoniométrie sans son antenne est connectée à un simulateur et à un générateur.

Le premier test sert principalement à déterminer la précision du système ou la précision pratique pour une utilisation type du système. Les deux autres méthodes servent à déterminer la précision de l'instrument et peuvent être utilisées par exemple à des fins de calibrage.

3.3.1.1 Tests de précision d'un système DF dans un environnement réel

Introduction à un essai en environnement réel

La précision d'un système de radiogoniométrie (comprenant les radiogoniomètres autonomes ainsi que les fonctionnalités de radiogoniométrie qui sont intégrées dans un système de contrôle du spectre et en font partie) peut se mesurer de façons différentes. Un système peut être testé sans ses antennes dans un laboratoire, un générateur de signal étant raccordé à un dispositif (comme un diviseur de puissance et des câbles RF de longueurs appropriées) simulant les tensions et les phases

incidentes des antennes, le simulateur étant raccordé au système DF sans ses antennes. Inversement, un système peut être placé à l'intérieur d'une chambre anéchoïque et des signaux d'essai peuvent être générés et utilisés pour mesurer la précision du système. Ou bien encore, un système peut être placé sur un banc d'essai ou dans un polygone d'essai, dans un environnement neutre électromagnétiquement sans réflexions ni structures pouvant induire des diffusions, des résonances ou un rayonnement secondaire, et testé avec des signaux de forte intensité. Dans des environnements neutres de ce type, la plupart des systèmes DF présentent une excellente qualité de fonctionnement, et les mesures réalisées servent à déterminer la "précision instrumentale" du système. Dans ces conditions, ces mesures ne permettent toutefois pas d'établir de distinctions entre différents systèmes DF, les conditions n'étant en effet pas représentatives du "monde réel", d'une utilisation effective, auxquelles serait adapté un système de haute performance, et inadapté un système de moindre performance. Le risque est qu'une administration peut acquérir un système qui aura subi brillamment les tests de laboratoire, pour découvrir plus tard qu'il ne fonctionne tout simplement pas bien dans la réalité.

Pour donner une mesure exacte de la qualité de fonctionnement d'un système DF, il convient donc de procéder aux essais dans des conditions opérationnelles effectives, semblables à celles dans lesquelles le système sera effectivement utilisé, les mesures servant alors à déterminer la "précision systémique" du système. Dans le reste de la présente section, on examinera la procédure qu'il est recommandée d'utiliser pour déterminer cette "précision systémique", c'est-à-dire pour tester des systèmes de radiogoniométrie dans des conditions opérationnelles effectives avec une variété de modulation et au moyen de signaux présentant le rapport signal/bruit minimum spécifié par le fabricant du système. Les sections 3.3.1.3 et 3.3.1.4 décrivent les procédures à suivre pour déterminer la "précision instrumentale", c'est-à-dire pour tester des systèmes de radiogoniométrie en laboratoire ou sur un banc d'essai à l'aide de signaux de forte intensité.

Détermination de la procédure de mesure

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

Avant de réaliser des tests de précision DF, il convient d'effectuer une analyse pour déterminer la zone de couverture qui sera couverte par les émetteurs d'essais aux fins des tests, mais également par les stations de diffusion en service et d'autres émetteurs (appelés aussi «cibles d'opportunité»). Cette analyse aidera à localiser les émetteurs d'essais et à choisir les cibles d'opportunités dont les signaux devront être reçus par le radiogoniomètre, signaux devant être d'une intensité qui donnera un rapport/bruit minimum, celui au moins spécifié par le fabricant du système.

L'équipement d'essai doit être préparé en vue des tests. Cet équipement comprend des émetteurs d'essais et des générateurs de modulation pour prendre en compte tous les types de modulation, aussi bien analogiques que numériques, de différentes largeurs de bande, soit des signaux à bande étroite et des signaux à bande large. En ce qui concerne les modulations numériques, les impulsions doivent être étroites, de l'ordre de 0,5 ms, et d'une longueur aléatoire. L'équipement doit être installé sur un véhicule avec un système GPS et une source d'alimentation électrique appropriée; le véhicule se rendra en des lieux choisis au hasard, le long de routes à l'intérieur de la zone de couverture calculée, de façon à ce que l'on obtienne au moins 36 valeurs d'azimut bien distribuées.

Le niveau de signal de l'émetteur d'essai doit être ajusté pour produire un signal au niveau du système DF qui soit conforme à la valeur du rapport signal/bruit spécifiée par le fabricant pour le système testé. On doit par ailleurs choisir des cibles d'opportunité qui soient elles aussi conformes

au rapport signal/bruit spécifié, tout en évitant les signaux produisant des rapports signal/bruit supérieurs de plus de 20 dB au rapport signal/bruit spécifié.

Pour chaque mesure réalisée, on calcule l'erreur en gisement, c'est-à-dire la différence entre l'azimut vrai (angle de l'antenne d'essai de l'émetteur) et le gisement lisible sur le radiogoniomètre.

Pendant les essais, les données de mesure doivent être enregistrées pour au moins 36 valeurs d'azimut, régulièrement distribuées sur 360°. En l'espèce, il faudrait un nombre très important d'emplacements d'essais couvrant l'ensemble du polygone de 360°, avec différents espacements en azimut (aléatoire) permettant d'obtenir des mesures jusqu'à 10° de résolution, mais pas exactement tous les 10° et pas tous les 10°. Les points de mesure doivent être en effet espacés de 6° au minimum et de 14° au maximum, avec un espacement moyen de 10°, pour être à même de choisir sur le terrain les emplacements se prêtant aux mesures, tout en ménageant une certaine souplesse.

Par exemple, un ensemble de mesures «convenables» peut comprendre 36 emplacements d'essais aux gisements suivants par rapport à l'antenne de radiogoniométrie:

1°, 8°, 14°, 27°, 39°, 46°, 60°, 72°, 85°, 92°, 104°, 118°, 131°, 144°, 156°, 165°, 172°,
179°, 189°,
198°, 206°, 215°, 222°, 235°, 247°, 258°, 268°, 276°, 286°, 299°, 310°, 319°, 327°, 334°,
346°, 354°

Cet ensemble présente un incrément minimum de 6° (de 8 à 14°) et un incrément maximum de 14° (entre 46 et 60° et entre 104 et 118°), et avec 36 mesures, un incrément «moyen» de 10°.

L'erreur en gisement doit être mesurée pour au moins neuf fréquences par décade bien distribuées à l'intérieur de la gamme de fréquences du radiogoniomètre, sans omettre le début et la fin de l'échelle, et avec au moins cinq fréquences dans la plage opérationnelle lorsqu'il n'y a pas de décade complète.

Les données doivent être collectées pour chaque azimut et chaque fréquence, pour de nombreux cas de modulation à chaque azimut et chaque fréquence, c'est-à-dire pour les modulations analogiques et numériques, mais aussi en bande étroite et en bande large. Les mesures d'un radiogoniomètre peuvent être moyennées pour produire un résultat composite pour chaque cas d'azimut, de fréquence et de modulation, avec le rejet de 10% au plus des mesures au titre de «données brutes». Le résultat est ensuite comparé avec l'angle d'arrivée connu, et l'erreur, Δ , est calculée et inscrite dans un tableau de données d'essais.

La plupart des radiogoniomètres utilisent pour la réception des antennes polarisées verticalement, étant donné que des antennes polarisées horizontalement pour la réception augmentent le coût et la complexité d'un système, mais aussi parce que les signaux intéressants sont en général polarisés verticalement, ou parce qu'à cause d'une polarisation imparfaite ou d'un phénomène de propagation, des effets parasites peuvent être reçus par une antenne polarisée verticalement. Plus précisément:

- a) Les ondes ionosphériques en bandes décamétriques subissent une rotation de leur polarisation dans l'ionosphère, si bien qu'une antenne d'une seule polarisation, en général verticale, suffit pour recevoir des signaux en ondes décamétriques qui à l'origine étaient polarisés soit verticalement, soit horizontalement. Les ondes au sol en bandes décamétriques se propagent sous forme de signaux polarisés verticalement, étant donné que des signaux polarisés horizontalement ne sauraient propager des ondes de ce type.
- b) La plupart des signaux dans les bandes métriques et décimétriques (à l'exception de certains signaux de télévision) sont normalement verticaux (ou présentent au moins une polarisation double comme de nombreux signaux de radiodiffusion FM), de sorte que la mesure la plus importante est verticale. Les quelques signaux qui ne sont qu'horizontaux (comme certains signaux de télédiffusion) relèvent normalement d'emplacements bien connus, de sorte qu'il n'est pas nécessaire de les situer par radiogoniométrie avec précision. Étant donné la

simplicité de la fabrication des antennes verticales dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques, notamment pour les plates-formes mobiles, la plupart des émetteurs intéressants utilisent des antennes verticales, ce qui est la condition la plus importante pour les radiogoniomètres.

- c) Certaines technologies en ondes décimétriques utilisent des signaux qui peuvent présenter une polarisation horizontale ou dont la polarisation peut varier selon l'orientation momentanée de l'antenne d'émission (par exemple dans un système cellulaire mobile), si bien qu'il peut être intéressant de caractériser un fonctionnement du système de radiogoniométrie en fonction de signaux émis avec une polarisation horizontale.

En résumé, la plupart des essais auxquels sont soumis les radiogoniomètres sont généralement réalisés avec une polarisation verticale; toutefois, certains peuvent être réalisés avec des signaux émis avec une polarisation horizontale en plus de la polarisation verticale. La polarisation des signaux d'essais doit être indiquée dans un tableau des données d'essais.

Le Tableau 1 est un exemple d'un tableau de données d'essais de ce type; on en utilisera un pour chaque modulation analogique, et pour chaque modulation numérique testée.

TABLEAU 1
Exemple de tableau de données d'essais

Modulation du signal _____ Polarisation du signal _____

Indice	Vrai	Fréquence 1		Fréquence 2		Fréquence 3		Fréquence 4		Fréquence M	
	Azimut	DF	Δ	DF	Δ	DF	Δ	DF	Δ	DF	Δ
1	1°										
2	8°										
3	14°										
...
36	354°										

Dans le tableau, DF indique l'azimut mesuré et Δ la différence entre l'azimut mesuré et l'azimut vrai.

Lors des tests, le véhicule doit se rendre au premier emplacement où le système GPS sera utilisé pour déterminer le lieu avec précision, ce qui permettra de déterminer le gisement entre le système DF et l'émetteur d'essai. On doit ensuite indiquer l'azimut dans tous les tableaux de données pour les différentes modulations, et réaliser les tests pour les différentes fréquences et modulations ainsi que pour les différentes données enregistrées dans les tableaux. Lorsque toutes les mesures ont été réalisées sur un même lieu, le véhicule se rend en un endroit qui représente un incrément choisi au hasard d'environ 10° supérieur au gisement précédent; là, on recommence les opérations de mesure. La procédure doit être répétée jusqu'à ce que toutes les mesures auront été réalisées à tous les azimuts retenus.

La valeur effective ou quadratique de l'erreur en gisement se calcule comme suit:

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

où:

N : nombre de mesures.

Pendant l'examen au plan international de ce projet, il conviendrait de prendre en considération des alternatives au calcul de la valeur quadratique de l'erreur. Par exemple, on pourrait envisager de retenir une fonction de distribution cumulative de l'erreur, dans laquelle on détermine le pourcentage du total des mesures qui se situent à l'intérieur d'une certaine erreur en azimut. A titre d'exemple, pour un système donné, on pourrait déterminer:

<i>Pourcentage de mesures</i>	<i>Erreur en azimut</i>
50%	< 0,1°
67%	< 1,7°
90%	< 5,5°

Si on utilise le percentile 90 comme valeur de référence, on obtient dans ce cas une spécification d'erreur de < 5,5° pour ce système.

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

- L'azimut de l'émetteur par rapport à la station DF (azimut vrai) doit être réglé avec une précision d'au moins 0,1° en valeur quadratique ou un dixième de la précision DF estimée, selon la valeur la plus contraignante, pour un niveau de confiance de 95,45%.
- Il est possible d'écarter jusqu'à 10% des emplacements de la zone de couverture (angles d'azimut) pour tenir compte des problèmes liés au site, à la couverture et à la mise en œuvre, pour autant qu'il existe un procédé ou une procédure adaptée pour écarter les données de ce type.
- La précision déclarée du système DF doit être la valeur quadratique calculée de tous les points de données, à l'exception de ceux qui ont été écartés.

Si on considère, par exemple, un système DF fonctionnant avec deux ensembles d'antenne, on peut déterminer les points d'essais suivants, valeur minimale conforme à cette norme:

- Antenne dans la gamme entre 80 MHz et 1 300 MHz.
 - 36 points azimutaux, bien distribués 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 seconde décade (entre 100 MHz et 900 MHz), plus 2 points pour parachever la gamme de la troisième décade (1 000 MHz et 1 300 MHz).
 - Total $N = 36 \times 13 = 468$ points d'essais pour chacune de plusieurs modulations analogiques et chacune de plusieurs modulations numériques.
- Antenne dans la gamme entre 1 300 MHz et 3 000 MHz.
 - 36 points azimutaux, bien distribués sur 360°.
 - 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).
 - Total $N = 36 \times 5 = 180$ points d'essais pour chacune de plusieurs modulations analogiques et chacune de plusieurs modulations numériques.

3.3.1.2 Considérations supplémentaires pour des mesures DF en ondes décamétriques

La mesure de la précision DF en ondes décamétriques se heurte à certaines contraintes:

- la longueur d'onde du signal HF impose d'importantes distances entre les émetteurs et les récepteurs;
- les variations des bruits atmosphériques ne sont pas facilement maîtrisables (tributaires de l'activité solaire, du moment de la journée ou de la nuit, et d'autres variables.)

Les mesures de la précision DF en ondes décamétriques seront alors identiques à celles en ondes métriques et décimétriques, sauf que:

- l'émetteur sera un émetteur de radiodiffusion réel dont les caractéristiques (azimut, niveau) seront connues; ou
- sera un véhicule d'émission en ondes décamétriques situé en un lieu connu.

Exemple en vue d'une spécification dans une fiche technique:

Précision DF: $\leq 2,5^\circ$ quadratique (80 MHz à 1 300 MHz, en fonction de tests opérationnels) (conforme à la Recommandation UIT-R SM pertinente).

Précision DF: $\leq 2,0^\circ$ quadratique (1 300 MHz à 3 000 MHz, selon les tests opérationnels) (conforme à la Recommandation UIT-R SM pertinente).

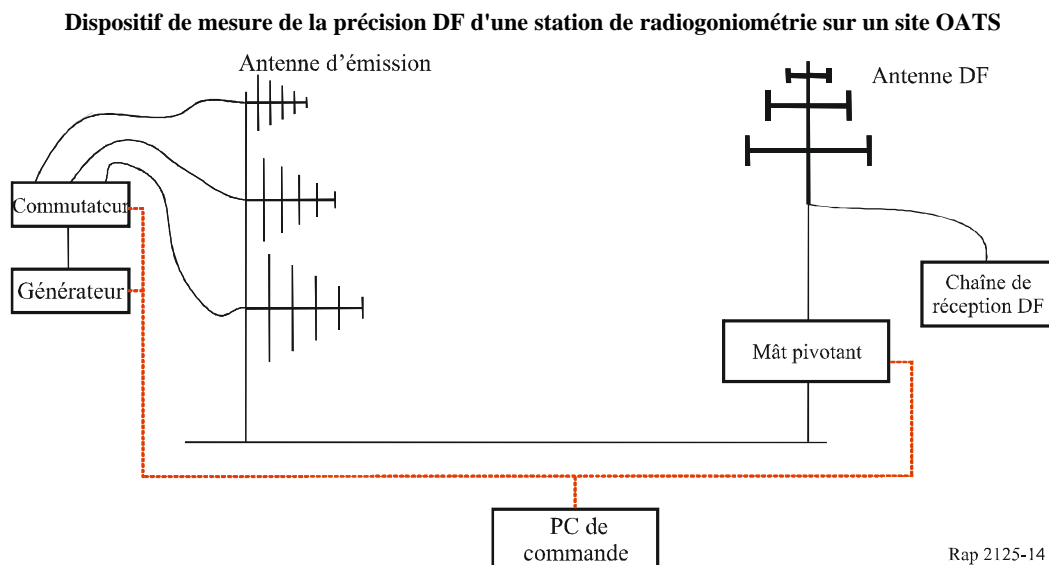
3.3.1.3 Détermination d'une procédure d'essais de précision DF sur un site OATS

On peut tester un système sans ses antennes dans un laboratoire, en raccordant un générateur de signal à un simulateur d'antenne et en connectant le tout au système DF dépourvu de ses antennes. Un système peut être placé sur un site OATS, dans un environnement électroniquement neutre, dépourvu de réflexions ou de structures susceptibles de causer des effets de diffusion, résonance ou rayonnements secondaires, et testé avec des signaux de forte intensité (voir la Fig. 14). Les mesures réalisées dans un environnement neutre de ce type servent à déterminer la "précision instrumentale" du système; cette précision n'est habituellement pas une mesure aussi bonne de la qualité de fonctionnement d'un système DF que dans des conditions opérationnelles effectives, étant donné que la plupart des systèmes DF se comportent plutôt bien dans l'environnement aseptisé d'un laboratoire ou d'un banc d'essai lorsqu'ils sont soumis à des signaux d'essai de forte intensité.

Pour le test en question, on mesure la précision DF du radiogoniomètre en utilisant un émetteur d'essai situé à proximité de l'antenne DF, dans un environnement exempt de toute réflexion. Le dispositif d'essai doit permettre de changer l'azimut de l'antenne d'essai de l'émetteur selon des pas définis pour couvrir toute la gamme de gisements de 360° .

Les fréquences pour lesquelles le milieu de propagation ou des effets par trajets multiples conduisent à des erreurs DF devraient être rejetées.

FIGURE 14



Calculer l'erreur en azimut mesurée:

$$\theta_{(F,\theta)} = (\theta_{mes} - \theta_{theo})$$

où:

θ_{mes} : angle mesuré à la fréquence et à l'azimut choisi (en degrés)

θ_{theo} : angle théorique avec l'azimut choisi (en degrés)

Calculer le résultat de la précision DF en calculant une moyenne quadratique de toutes les valeurs aux fréquences et azimuts choisis:

$$\theta = \sqrt{\frac{\sum_{\theta} \sum_F \theta_{(F,\theta)}^2}{N}}$$

θ : mesure l'azimut (en degrés valeur quadratique)

$\theta_{(F,\theta)}$: angle mesuré à la fréquence et à l'azimut choisis (en degrés)

N : nombre de points de mesure.

Il est possible de compenser l'erreur due au biais d'installation de l'antenne DF sur la base du biais moyen calculé à partir de toutes les mesures, en procédant comme suit:

$$\theta = \theta - \frac{\sum_{\theta} \sum_F \theta_{(F,\theta)}}{N}$$

La mesure de la précision DF en ondes décamétriques se heurte à d'autres contraintes, à savoir:

- la longueur d'ondes du signal HF impose d'importantes distances entre les émetteurs et les récepteurs;
- les variations des bruits atmosphériques ne sont pas facilement maîtrisables (tributaires de l'activité solaire, du moment de la journée ou de la nuit, etc.).

La mesure de la précision DF en ondes décamétriques est alors identique à celle de la précision DF en ondes métriques et décimétriques, sauf que:

- l'émetteur est un émetteur de radiodiffusion réel dont les caractéristiques (azimut, niveau) sont connues;
- ou bien il s'agit d'un véhicule d'émission en ondes décamétriques situé en un lieu connu.

Distribution des points des mesures

Pour permettre une distribution équitable des fréquences sur la totalité de la bande, on doit choisir les fréquences comme suit:

- la distribution se fera par octave;
- le nombre de mesures par sous-bande sera fixe, et égal ou supérieur à 1;
- les points de mesures seront choisis de manière aléatoire.

Pour des mesures sur un site en espace ouvert, on choisira les azimuts des mesures comme suit:

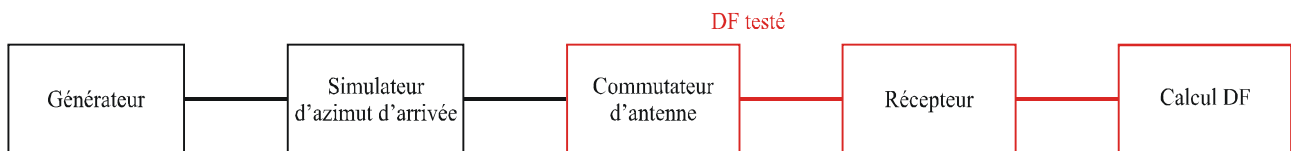
- le nombre d'azimuts de mesure sera fixe, et égal ou supérieur à 2;
- les azimuts des mesures seront choisis de manière aléatoire sur 360°.

La précision DF est garantie. La précision DF publiée est valable pour toute la gamme de température utilisée, indiquée dans le cahier technique.

3.3.1.4 Définition de la procédure de test de la précision DF sur une plate-forme

La précision DF est obtenue à l'aide d'un simulateur d'azimut d'arrivée, dispositif qui permet d'appliquer à chaque antenne élémentaire de l'antenne DF un signal avec une amplitude et une phase correctes (voir la Fig. 15).

FIGURE 15
Dispositif de mesure de la précision DF pour une station de radiogoniométrie sur une plate-forme



Rap 2125-015

La méthode de mesure est la même que pour le site OATS sauf que l'azimut théorique est donné par le simulateur d'antenne.

3.3.2 Vitesse de balayage de la mesure DF

La vitesse de balayage DF caractérise le nombre d'émetteurs que peut analyser une station DF pendant une durée donnée. Ce paramètre dépend des deux facteurs suivants:

- la vitesse du récepteur (positionnement des oscillateurs, filtres, etc.);
- la vitesse du traitement numérique (FFT, radiogoniométrie, etc.).

La vitesse de balayage permet au radiogoniomètre de mesurer dans une bande de fréquences donnée comprise entre F_{min} et F_{max} , le taux de détection DF valable des signaux entrants; elle s'exprime en MHz/s.

La vitesse de balayage DF étant indépendante de l'antenne utilisée, la mesure est effectuée sans antenne. La vitesse de balayage pour la mesure est la vitesse de balayage de la chaîne de réception de la station DF illustrée à la Fig. 10.

La qualité de fonctionnement est garantie par les deux mesures suivantes:

- Calcul en azimut valable d'une salve qui prouve la vitesse à laquelle est balayée la bande.
- Calcul en azimut valable de plusieurs salves simultanées sans incidence sur la vitesse à laquelle est balayée la bande.

Pour mesurer la vitesse de balayage, on ne tient compte que des mesures effectuées en azimut valable.

Présentation des résultats

La valeur de la vitesse de balayage DF est garantie.

La valeur de balayage publiée est valable pour l'intégralité de la gamme de températures nominales indiquée dans la fiche technique.

3.3.3 Durée du signal minimum DF

Principe de mesure

La durée du signal minimum caractérise la durée minimale pendant laquelle un signal doit être présent pour pouvoir être détecté et mesuré par le radiogoniomètre.

Cette durée dépend de:

- la vitesse de traitement numérique (FFT, radiogoniométrie ...);
- le filtre IF choisi.

Le principe de la mesure consiste à générer une impulsion d'une durée égale à celle du signal minimum et de calculer la probabilité de détection, qui doit être supérieure à 95%.

Présentation des résultats

La valeur de la durée du signal minimum est garantie.

La durée du signal minimum publiée est valable pour l'intégralité de la gamme de températures nominales indiquée dans la fiche technique.
