

RECOMMANDATION UIT-R M.1177-1*

**TECHNIQUES À UTILISER POUR LA MESURE DES RAYONNEMENTS
NON ESSENTIELS DES SYSTÈMES RADAR**

(Question UIT-R 202/8)

(1995-1997)

Résumé

L'Appendice 8 (S3) du Règlement des radiocommunications (RR) spécifie les valeurs maximales des rayonnements non essentiels des émetteurs radioélectriques exprimées aussi bien en puissance moyenne relative qu'en puissance moyenne absolue, mais ces limites ne s'appliqueront au service de radiorepérage que lorsque des méthodes de mesure acceptables existeront. Cette Recommandation fournit des techniques pour la mesure des rayonnements non essentiels des radars.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les stations aussi bien fixes que mobiles du service de radiorepérage font une large utilisation de bandes adjacentes à d'autres services ou en relation harmonique avec eux;
- b) que des stations dans d'autres services sont sensibles aux brouillages de stations radar ayant des rayonnements non essentiels avec des niveaux élevés de puissance de crête;
- c) que de nombreux services ont adopté ou projettent d'adopter des systèmes à modulation numérique qui sont plus sensibles aux brouillages par les rayonnements non essentiels des radars;
- d) que suivant les conditions des § a) à c), une station radar dont les rayonnements non essentiels ont des niveaux élevés de puissance de crête peut causer des brouillages à des stations d'autres services;
- e) que l'Appendice 8 (S3) du RR spécifie les valeurs maximales des rayonnements non essentiels des émetteurs radioélectriques exprimées aussi bien en puissance moyenne relative qu'en puissance moyenne absolue, mais ces limites ne s'appliqueront au service de radiorepérage que lorsque des méthodes de mesure acceptables existeront;
- f) que les techniques de mesure des rayonnements non essentiels des radars pour assurer la compatibilité avec d'autres services requièrent la capacité de mesurer des niveaux de l'ordre de 130 dB au-dessous de l'émission fondamentale du radar;
- g) qu'il est souhaitable de posséder la capacité de mesurer les rayonnements non essentiels s'élevant jusqu'à 18 GHz,

recommande

- 1 d'utiliser les techniques de mesure décrites dans l'Annexe 1 pour quantifier les niveaux des rayonnements non essentiels des stations radars.

ANNEXE 1

1 Introduction

Des techniques ont été élaborées pour répondre au § 1 de la Question UIT-R 202/8. Deux techniques, connues comme les méthodes directe et indirecte, sont recommandées.

La méthode de mesure directe permet de mesurer avec précision les rayonnements non essentiels des radars de façon à éviter les mesures en des points intermédiaires des systèmes radar. De tels radars comprennent, par exemple, ceux qui utilisent des réseaux à répartition d'émetteurs construits dans la structure d'antenne (ou qui la comprennent effectivement).

* Cette Recommandation doit être portée à l'attention de l'Organisation maritime internationale (OMI), de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), du Comité international radiomaritime (CIRM) et de l'Organisation mondiale de météorologie (OMM) et des Commissions d'études 1, 4 et 9 des radiocommunications.

La méthode indirecte est celle où les composants du système radar sont mesurés séparément et ensuite les résultats sont combinés. La division recommandée du radar sépare le système après le joint rotatif et permet ainsi de mesurer le spectre de sortie de l'émetteur au terminal de sortie du joint rotatif et de la combiner avec les caractéristiques mesurées du gain d'antenne.

L'expérience en ce qui concerne ces techniques a mis en évidence une répétabilité de ± 2 dB à une fréquence donnée quelconque lorsque la mesure d'un radar particulier quelconque est réeffectué dans des conditions agréées fixées des paramètres de la mesure.

2 Largeur de bande du système de mesure et paramètres du détecteur

Largeur de bande à fréquence intermédiaire	\leq	$(1/T)$ pour les radars à fréquence fixe, à impulsions non codées, où T est la durée de l'impulsion. (Par exemple, si la durée de l'impulsion radar est $1 \mu\text{s}$, la largeur de bande mesure FI doit être $\leq 1/(1 \mu\text{s}) = 1 \text{ MHz}$.)
	\leq	$(1/t)$ pour les radars à fréquence fixe à impulsions codées en phase, où t est la durée de l'élément de phase. (Par exemple, si le radar émet des impulsions de $26 \mu\text{s}$, chaque impulsion étant constituée de 13 éléments codés en phase d'une durée de $2 \mu\text{s}$, la largeur de bande de mesure FI doit être $\leq 1/(2 \mu\text{s}) = 500 \text{ kHz}$.)
	\leq	$(B/T)^{1/2}$, pour les radars à balayage de fréquence (MF ou à compression d'impulsion), où B est la gamme du balayage de fréquence pendant chaque impulsion et T est la durée de l'impulsion. (Par exemple, si les balayages du radar (fluctuations) sont dans la gamme de fréquences de 1250 à 1280 MHz ($= 30 \text{ MHz}$ de spectre) pendant chaque impulsion et si la durée de l'impulsion est $10 \mu\text{s}$, la largeur de bande de mesure FI doit être $\leq ((30 \text{ MHz})/(10 \mu\text{s}))^{1/2} = \sqrt{3} \approx 1,73 \text{ MHz}$.)
Largeur de bande vidéo	\geq	largeur de bande FI du système de mesure.
Détecteur:		crête positive.

3 Méthode directe

3.1 Matériel et logiciel de mesure

Un diagramme par blocs du type de système de mesure nécessaire pour cette méthode apparaît dans la Fig. 1. Le premier élément du système est l'antenne de réception. Cette antenne doit habituellement avoir une réponse en fréquence à large bande, au moins aussi large que la gamme de fréquences à mesurer. Une réponse à grand gain (comme celle fournie par un réflecteur parabolique) est aussi habituellement souhaitable. La valeur élevée du gain autorise une plus grande gamme dynamique dans les mesures résultantes et l'étroitesse de la largeur du faisceau permet une discrimination par rapport à d'autres signaux dans la zone. La polarisation de l'alimentation de l'antenne est choisie pour maximiser la réponse au signal radar. La polarisation circulaire de l'alimentation est un bon choix pour les cas où la polarisation du radar n'est pas connue *a priori*. Une longueur de câble RF à faibles pertes (qui varieront suivant les conditions géométriques sur chaque site de mesure) relie l'antenne à l'entrée RF du système de mesure. Comme les pertes dans cette portion de ligne atténuent le signal radar reçu, il est souhaitable de rendre cette longueur de ligne aussi courte que possible.

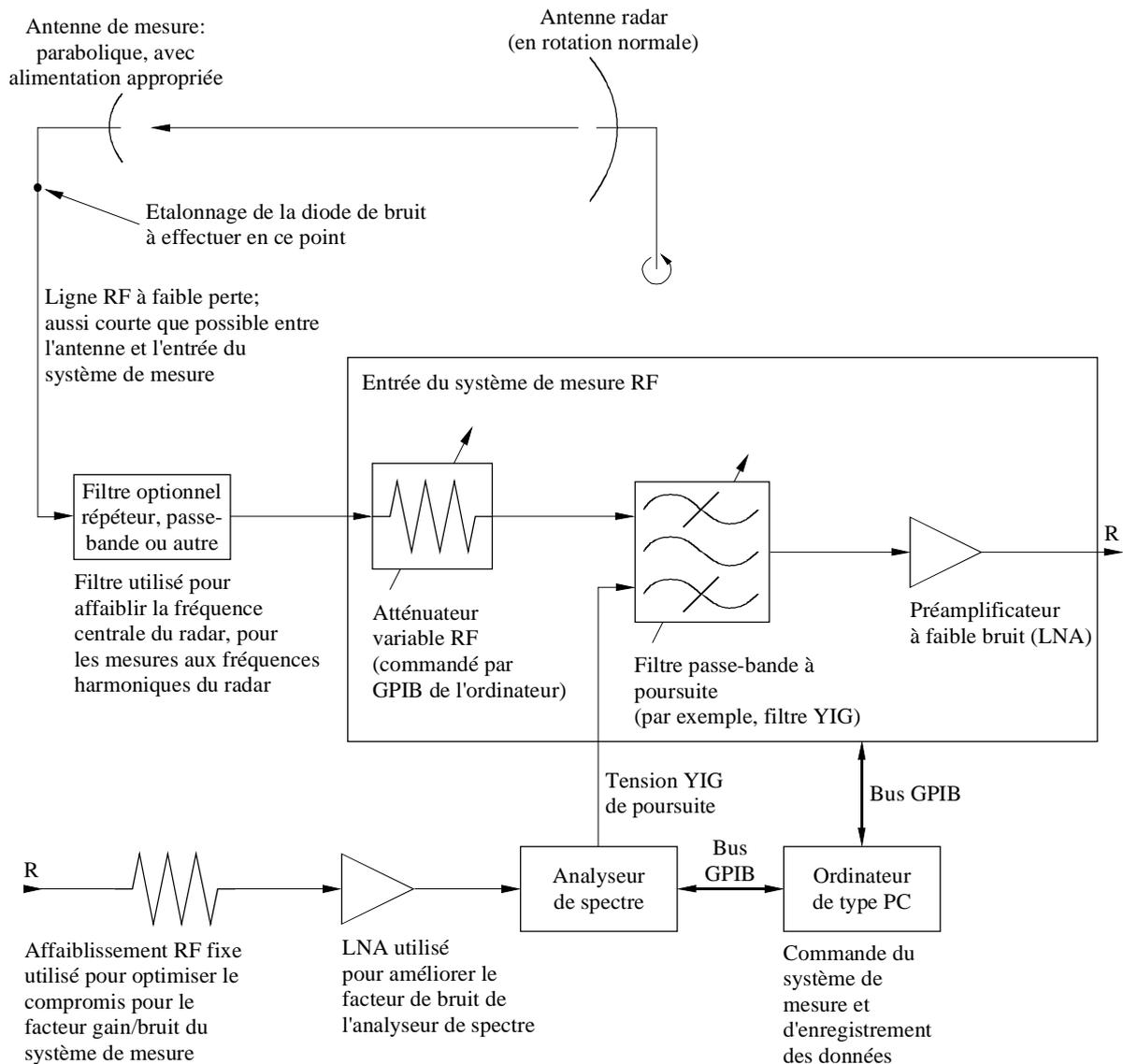
L'entrée RF est constituée de trois éléments: un atténuateur variable RF, un filtre passe-bande accordable en fréquence (mentionné ici comme un présélecteur) et un amplificateur à faible bruit (LNA). Chacun de ces trois éléments doit avoir une réponse en fréquence au moins aussi large que la gamme de fréquences à mesurer. L'atténuateur RF produit un affaiblissement variable (par exemple, 0-70 dB) par pas fixes (par exemple, 10 dB/pas de l'atténuateur). L'utilisation de cet atténuateur pendant la mesure étend la gamme dynamique instantanée du système de mesure jusqu'au montant maximal de l'affaiblissement disponible (par exemple, 70 dB pour un atténuateur 0-70 dB). En principe, cet atténuateur pourrait être commandé manuellement, mais en pratique, sa commande par un ordinateur est bien plus commode (voir ci-après).

Le présélecteur protège le système de mesure d'un comportement non linéaire résultant de la puissance élevée sur la fréquence fondamentale du signal radar, le système de mesure étant accordé sur des signaux à puissance relativement faible sur des fréquences lointaines du spectre des rayonnements non essentiels (par exemple, lorsque la fréquence

centrale du radar est 3 050 MHz et que le système de mesure est accordé sur 4 800 MHz). Ce filtre pourrait, en principe, être accordé manuellement. Toutefois, de même que pour l'atténuateur, la commande automatique est beaucoup plus commode, soit par un ordinateur soit par une tension analogique dépendant de la fréquence d'accord de l'analyseur de spectre.

FIGURE 1

Diagramme par blocs pour la mesure des rayonnements non essentiels rayonnés des radars en utilisant la méthode directe



1177-01

L'élément final dans l'entrée RF est un LNA. Un LNA figurant comme l'élément suivant dans le chemin du signal après le présélecteur améliore le facteur de bruit du restant du système de mesure (par exemple: une longueur de ligne de transmission et un analyseur de spectre). Des valeurs types du facteur de bruit de l'analyseur de spectre sont 25-45 dB et les pertes en ligne de transmission peuvent être typiquement 5-10 dB, selon la qualité et la longueur de la ligne. L'utilisation d'un LNA après le présélecteur (et si nécessaire un LNA en cascade à l'entrée de l'analyseur de spectre) peut réduire le facteur de bruit global de tout le système de mesure à environ 10-15 dB.

On peut utiliser n'importe quel analyseur de spectre pouvant recevoir des signaux dans la gamme de fréquences intéressée et pouvant être commandé par ordinateur pour mettre en œuvre l'algorithme de variation pas à pas de la fréquence. Ainsi que noté plus haut, le facteur de bruit élevé des analyseurs de spectre couramment disponibles doit être amélioré par une préamplification à faible bruit s'il est nécessaire que la mesure dispose de la sensibilité nécessaire à l'observation de la plupart des rayonnements non essentiels.

Le système de mesure peut être commandé par tout ordinateur disposant d'interface bus (GPIB) compatible avec l'équipement utilisé. En matière de mémoire et de rapidité, les ordinateurs modernes de type PC sont tout à fait adéquats. L'algorithme de mesure (qui pilote le pas de variation en fréquence de l'analyseur de spectre et le présélecteur et commande l'atténuateur variable d'entrée) doit être mis en œuvre par le logiciel. Il se peut que certains logiciels disponibles dans le commerce combrent presque complètement les besoins dans ce domaine mais il est probable que l'organisation qui procède aux mesures aura à écrire au moins en partie son logiciel de mesure propre.

Les données peuvent être enregistrées sur le disque dur de l'ordinateur ou sur un disque amovible. Idéalement un enregistrement de données est fait tous les 100-200 pas de mesure, de façon à conserver une taille des fichiers de données permettant leur traitement et à prévenir la perte d'une quantité excessive de données si l'ordinateur du système de mesure devenait défaillant pendant la mesure.

3.2 Etalonnage du système de mesure

Le système de mesure est étalonné en déconnectant l'antenne du reste du système et en plaçant une diode de bruit en ce point. Une diode à rapport de bruit en excès (ENR) de 25 dB devrait être plus que suffisante pour effectuer un étalonnage satisfaisant en admettant que le facteur de bruit global du système est inférieur à 20 dB. La technique est la méthode standard en Y avec des mesures comparatives de puissance effectuées dans tout le spectre une fois avec la diode de bruit en service et une fois avec la diode de bruit hors service.

L'étalonnage par diode de bruit permet d'établir un tableau des facteurs de bruit et des corrections du gain dans toute la gamme du spectre à mesurer. Les corrections du gain peuvent être stockées dans une table de recherche et sont appliquées aux données de mesure au moment où elles sont collectées.

L'antenne de mesure n'est pas normalement étalonnée sur le terrain. Des facteurs de correction pour l'antenne (s'il y en a) sont appliqués dans l'analyse succédant aux mesures.

3.3 Conduite des mesures

En plus des paramètres figurant au § 2, l'analyseur de spectre doit être réglé comme suit:

Fréquence centrale de l'analyseur de spectre:	fréquence la plus basse à mesurer. (Par exemple, si la fréquence centrale du radar est 3 050 MHz mais que le spectre doit être mesuré sur 2-6 GHz, la fréquence centrale initiale de l'analyseur de spectre serait 2 GHz.)
Excursion de fréquence de l'analyseur de spectre	= 0 Hz. (L'analyseur est utilisé comme instrument à variation dans le domaine temps.)
Temps de balayage de l'analyseur de spectre	> l'intervalle de rotation du faisceau radar. (Par exemple, si le radar tourne à 40 tours par minute, ou 1,5 s/tour, le temps de balayage doit être > 1,5 s. Deux secondes serait un choix raisonnable.)

L'antenne du radar étant en balayage normal et le système de mesure étant réglé comme il est décrit ci-dessus, le premier point de données est noté. Un point de données consiste en une paire de nombres: le niveau de puissance mesuré et la fréquence à laquelle le niveau de puissance a été mesurée. Par exemple, le premier point de données dans la mesure qui précède pourrait être -93 dBm à 2 000 MHz. Le point de données est noté en pilotant l'émission radar à la fréquence désirée, avec une excursion de fréquence de 0 Hz, pendant un intervalle légèrement plus long que la rotation du radar. Cette représentation dans le temps de la rotation du faisceau radar figurera sur l'écran de l'analyseur de spectre. Le point le plus élevé de la trace représentera normalement la puissance reçue alors que le faisceau radar était dirigé dans la direction du système de mesure. Cette valeur maximale de la puissance reçue est recueillie (habituellement par l'ordinateur de commande, bien qu'elle puisse être notée manuellement), elle est corrigée en ce qui concerne le gain du système de mesure à cette fréquence et enregistrée (habituellement dans un fichier de données ou un disque magnétique).

Le deuxième point de mesure est pris en effectuant l'accord du système de mesure sur la fréquence suivante à mesurer. Cette fréquence est de façon optimale égale à la première fréquence mesurée, augmentée de la largeur de bande de mesure (par exemple, si la première mesure était à 2 000 MHz et la largeur de bande de mesure de 1 MHz, la seconde fréquence mesurée serait 2 001 MHz). A cette seconde fréquence, la procédure est répétée: mesurer la puissance maximale reçue pendant l'intervalle de rotation du faisceau radar, corriger la valeur en fonction du ou des facteurs de gain et noter le point de données correspondant.

Cette procédure qui consiste à parcourir le spectre pas à pas (plutôt que balayer) est poursuivie jusqu'à ce que le spectre d'émission désiré soit parcouru entièrement.

La technique pas à pas permet aussi l'insertion d'affaiblissement RF à l'entrée du système de mesure lorsque les fréquences approchent la fréquence centrale (ou toute autre crête) du spectre radar. Cette possibilité d'ajouter de l'affaiblissement en fonction d'un critère de sélection de fréquence permet d'étendre la gamme dynamique disponible pour la mesure jusqu'à environ 130 dB si un atténuateur RF 0-70 dB est utilisé avec un système de mesure possédant 60 dB de gamme dynamique instantanée. Ceci est un grand avantage pour identifier des rayonnements non essentiels de puissance relativement faible. Pour obtenir le même résultat dans une mesure à balayage de fréquence, il serait possible d'introduire un filtre réjecteur à la fréquence centrale du radar, mais il n'y aurait pas de moyen pratique d'insérer un filtre réjecteur sur toutes les autres crêtes de grande amplitude qui pourraient se présenter dans le spectre.

Il est **extrêmement important** d'effectuer un filtrage de bande adéquat à l'entrée du système de mesure de sorte que les fortes composantes du signal de fréquences lointaines ne perturbent pas la mesure des composantes non essentielles de faible puissance.

4 Méthode indirecte

La Fig. 2 illustre une séparation des composants recommandée pour la méthode indirecte. Lorsque des rayonnements non essentiels sont mesurés au joint rotatif puis combinés aux caractéristiques de l'antenne mesurées séparément à des distances de 5 et de 30 m avec une correction de champ éloigné appropriée, la procédure suivante est appliquée:

Etape 1: mesure du rayonnement d'un émetteur radar au joint rotatif au moyen d'une ligne d'alimentation (comme indiqué à la Fig. 3);

Etape 2: réalisation de mesures séparées du gain maximal d'une antenne radar aux fréquences de rayonnement obtenues à l'étape 1, les mesures étant effectuées à des distances de 5 m pour les fréquences inférieures à 5 GHz et de 30 m pour les fréquences supérieures à 5 GHz (comme indiqué à la Fig. 4);

Etape 3: correction des gains mesurés avec un facteur de correction approprié (à l'aide du programme logiciel indiqué à l'Appendice 1), pour les fréquences auxquelles les rayonnements ont été observés à l'étape 1;

Etape 4: en dernier lieu, combinaison des étapes 1 et 3 pour obtenir la p.i.r.e. rayonnée indirectement aux fréquences de rayonnement non essentielles observées.

FIGURE 2
Système type de radar

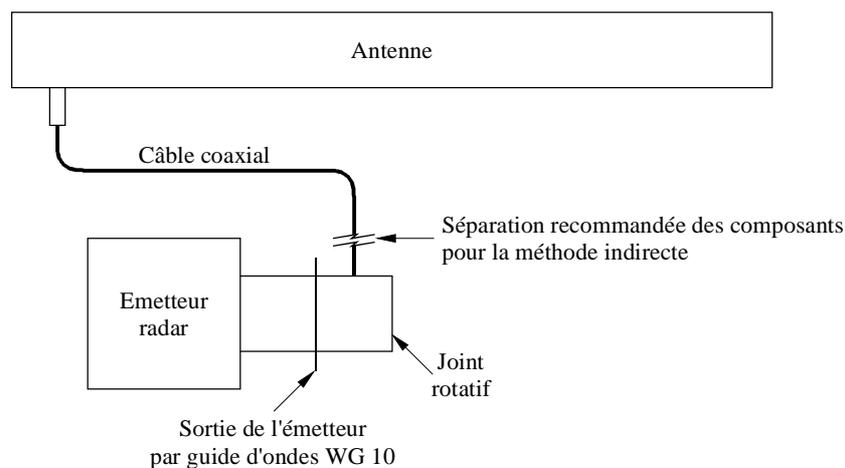
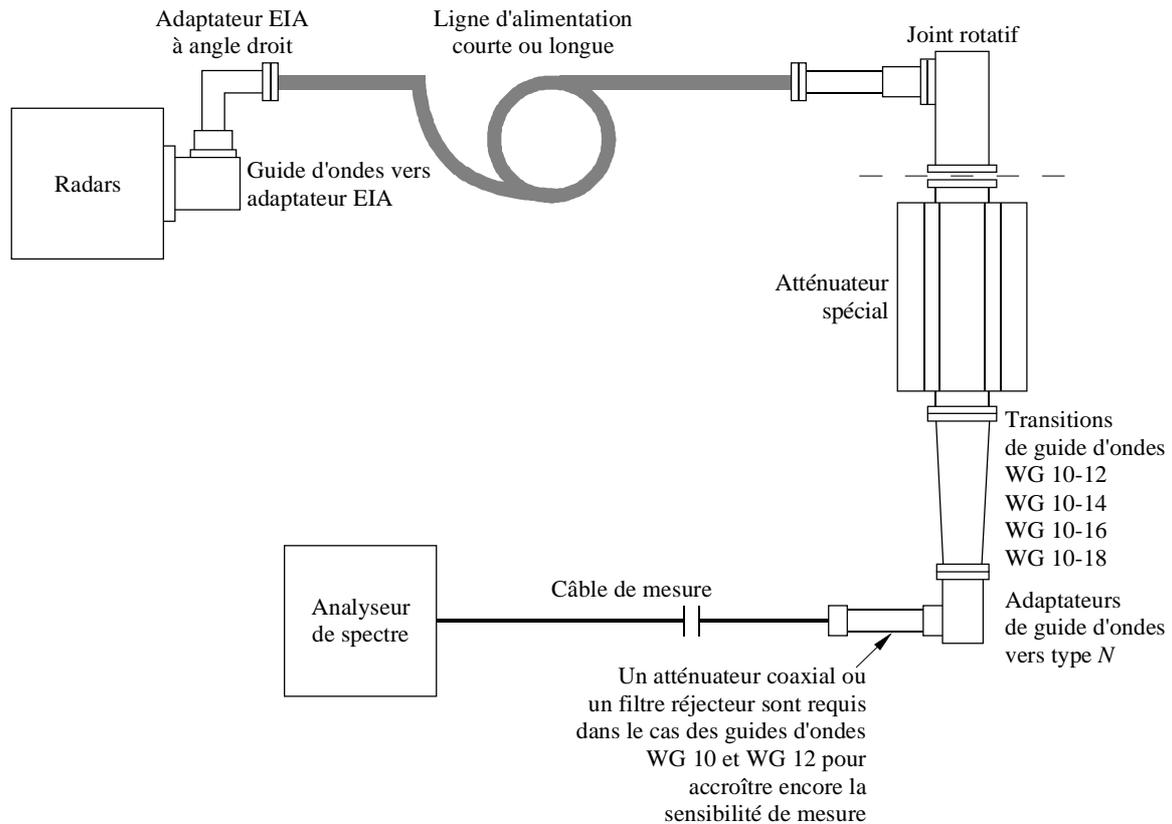


FIGURE 3

Mesure à l'accès du joint rotatif



1177-03

4.1 Méthodes de mesure et problèmes liés aux guides d'ondes

Mesurer le spectre de puissance de sortie de l'émetteur pose deux problèmes majeurs. Il s'agit, premièrement, de l'accès sans distorsion aux composantes de fréquence plus élevée du spectre émis et, deuxièmement, de la mesure des émissions de très faible niveau en présence de l'impulsion principale transmise, qui peut être de l'ordre de 60 kW de puissance de crête.

Dans tout guide d'ondes, le mode de propagation TE_{10} peut être mesuré au moyen d'un système de mesure étalonné dont les caractéristiques sont telles qu'il affaiblit suffisamment le signal fondamental de forte puissance pour protéger l'équipement de mesure, tout en produisant un affaiblissement minimal sur les autres fréquences, l'énergie étant mesurée dans le mode TE_{10} .

Avec des radars à magnétron, il est cependant reconnu que l'émetteur pourrait à tout moment produire des rayonnements non essentiels dans des modes d'ordre plus élevé et que les niveaux d'énergie pourraient être supérieurs à ceux que l'on observe dans le mode fondamental. La détermination du contenu modal à la sortie de l'émetteur est potentiellement coûteuse et peut, de toute manière, ne pas être significative sur le plan technique, étant donné la très grande probabilité que les modes d'ordre plus élevé seront piégés dans un guide d'ondes vers un adaptateur coaxial ou vers une ligne d'alimentation et le joint rotatif de l'antenne radar (en d'autres termes, les guides d'ondes vers des adaptateurs coaxiaux ne sont conçus que pour le couplage d'énergie en mode TE_{10}).

4.2 Système de mesure des rayonnements non essentiels dans un guide d'ondes

Ce système permet de mesurer avec précision les faibles niveaux de rayonnement en présence de signaux radar de puissance élevée.

Il est principalement constitué d'un filtre réjecteur et d'une série de répartiteurs progressifs pour guide d'ondes (du WG 10 jusqu'à des dimensions plus petites) couvrant toute la plage de fréquences concernée. Le filtre réjecteur

comprend un guide d'ondes rectiligne WG 10 avec des éléments absorbants qui affaiblissent le signal fondamental avec un affaiblissement minimal sur les autres fréquences. Pour obtenir l'affaiblissement complémentaire requis pour la protection de l'équipement de mesure et pour mesurer le rayonnement à des fréquences plus élevées, des répartiteurs linéaires progressifs pour guide d'ondes sont utilisés à la sortie du filtre réjecteur.

Le répartiteur progressif pour guide d'ondes est un filtre passe haut qui rejette, en les réfléchissant vers l'arrière, les signaux au-dessous de la fréquence de coupure. Si un répartiteur progressif avait été utilisé directement au terminal de sortie d'un émetteur radar, la fondamentale aurait été réfléchi vers l'arrière dans l'émetteur avec, pour effet, un défaut d'adaptation peu souhaitable, mais en raison des répartiteurs progressifs les signaux réfléchis auraient été absorbés une seconde fois. De cette façon, la perte sur le retour à la fréquence fondamentale est 34 dB, ce qui est suffisamment faible pour éviter un décalage en fréquence du magnétron.

Les fréquences au-dessus de la coupure sont transmises à travers les transitions jusque dans l'équipement de mesure. Un élément de guide d'ondes de faible longueur doit être incorporé, si possible, pour éviter le couplage de modes évanescents entre un répartiteur progressif et un guide d'ondes vers une transition coaxiale.

4.3 Résultats des mesures au terminal du joint rotatif

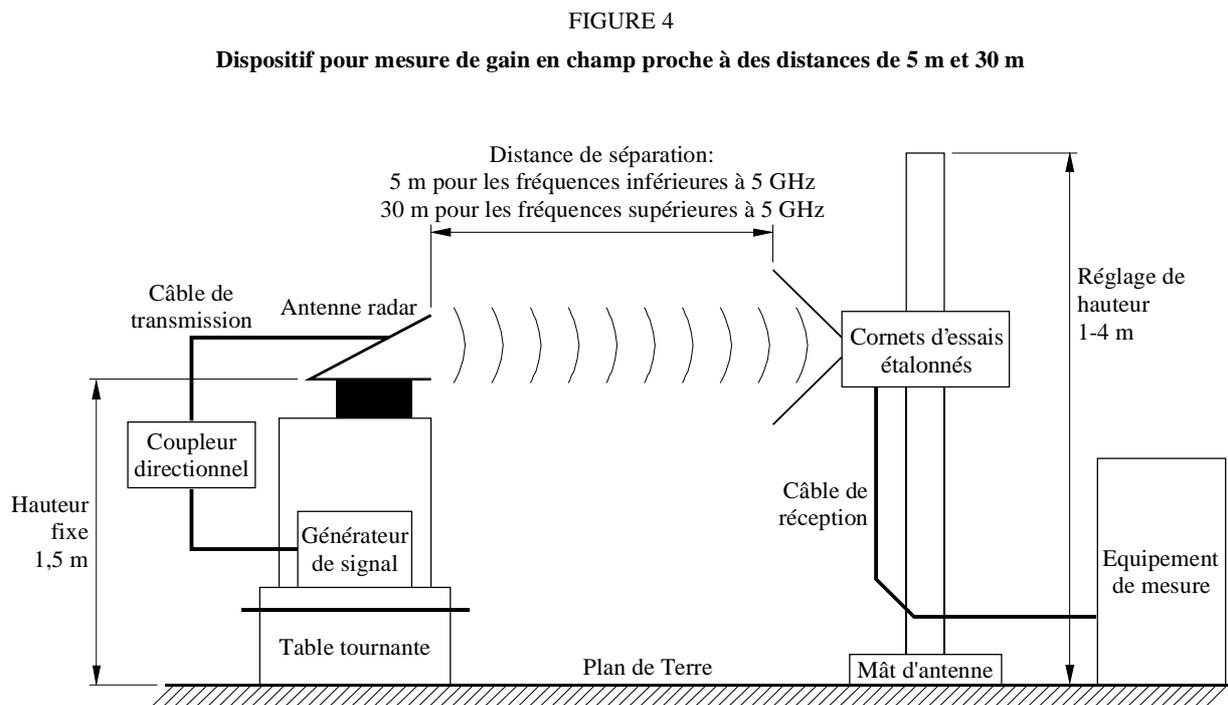
La technique de mesure comprend une recherche exploratoire de la bande de fréquences concernée pour localiser et marquer, selon leur fréquence, les rayonnements non essentiels significatifs, suivie par un retour à chaque rayonnement observé pour une mesure précise et détaillée de l'amplitude maximale de ce rayonnement.

4.4 Incertitude des mesures dans un guide d'ondes

Le système présente une précision de mesure de $\pm 1,3$ dB sur la bande de fréquences comprise entre 2 et 18,4 GHz au terminal du guide d'ondes. Avec un niveau de confiance d'au moins 95%, l'incertitude globale peut être évaluée à $\pm 3,4$ dB pour le terminal du guide d'ondes, l'analyseur de spectre étant inclus.

4.5 Mesure des caractéristiques du gain d'antenne aux fréquences de rayonnement observées

La méthode indirecte recommande que les mesures de champ proche soient effectuées sur l'antenne en un site d'essai en terrain dégagé à une distance de 5 m pour les fréquences inférieures à 5 GHz et de 30 m pour les fréquences supérieures à 5 GHz. Des facteurs de correction sont ensuite utilisés pour que les mesures s'appliquent au gain d'un champ éloigné équivalent, avec une corrélation acceptable pour le gain de champ éloigné. Un dispositif de mesure type est représenté à la Fig. 4.



4.6 Procédure de mesure de gain en champ proche à des distances de 5 et de 30 m

Le gain maximal de l'antenne en essais doit être mesuré aux fréquences de rayonnement non essentiel et hors bande mesurées ou identifiées, selon la méthode indiquée au § 4.3. Sur chaque fréquence mesurée ou identifiée, on maximise le gain de l'antenne en essais d'abord en faisant tourner celle-ci sur 360° puis en faisant mouvoir vers le haut et vers le bas le cornet d'essai. On obtient le gain de l'antenne en mesurant, sur chaque fréquence concernée, la p.i.r.e. à chaque distance avec un niveau de puissance connu à l'entrée de l'antenne. Voir les équations (1) et (2) pour des détails sur la manière dont on calcule le gain en champ éloigné équivalent, G_a , de l'antenne en essais à partir du niveau mesuré de l'analyseur de spectre, S .

$$G_a \text{ de l'antenne en essais (dBi)} = \text{p.i.r.e. mesurée (dBm)} - P_{\text{entrée}} \text{ (dBm)} + G_c \text{ (dB)} \quad (1)$$

$$\text{p.i.r.e. mesurée (dBm)} = S \text{ (dBm)} + 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \text{ (dB)} - G_r \text{ (dBi)} \quad (2)$$

où:

- G_a : gain en champ éloigné équivalent de l'antenne en essais (dBi)
- $P_{\text{entrée}}$: puissance à l'entrée de l'antenne en essais (dB)
- G_c : facteur de correction du gain à des distances de 5 et de 30 m pouvant être calculé pour l'antenne en essais à l'aide du programme logiciel indiqué à l'Appendice 1
- S : niveau mesuré de l'analyseur de spectre (dBm)
- G_r : gain du cornet d'essai de l'antenne de réception (dBi)
- d : distance de mesure (m)
- λ : longueur d'onde de la fréquence concernée (m)

4.7 Facteurs de correction et de réduction du gain

Le programme logiciel fournit les facteurs de correction du gain en champ éloigné à partir d'une mesure en champ proche. Il calcule le facteur de correction pour chaque distance, à la fréquence concernée, à partir des variations de phase de l'onde reçue sur l'antenne linéaire. (A des distances proches, le front d'onde est sphérique et non linéaire.) Le gain d'antenne maximal à l'infini peut être déterminé à partir de mesures effectuées en champ proche.

Il convient de rappeler que le diagramme de gain de l'antenne n'est pas traité dans le présent contexte. A des fréquences de rayonnement non essentiel, la longueur électrique de l'antenne est différente de la longueur mécanique et peut être bien plus courte que celle-ci. Ceci est dû au fait que le diagramme d'éclairement de l'antenne est différent à des fréquences autres que la fréquence définie. Une copie de ce programme figure à l'Appendice 1.

4.8 Incertitude de la mesure du gain en champ proche avec les facteurs de correction appliqués

L'incertitude des mesures correspondant aux cas les plus défavorables peut être estimée à ± 6 dB, compte tenu de l'analyseur de spectre, du gain du cornet d'essai, des pertes sur le câble et des défauts de la source et du site. Avec un niveau de confiance de 95% au moins, l'incertitude globale peut être évaluée à $\pm 4,2$ dB.

Dans le calcul des facteurs de correction correspondant à ces distances, l'ouverture rayonnante de l'antenne en essais est supposée constante à toutes les fréquences.

4.9 Production du spectrogramme à l'émission d'un émetteur radar en termes de p.i.r.e. (combinaison des rayonnements mesurés et des caractéristiques du gain d'antenne)

La technique appliquée pour obtenir la valeur maximale de la p.i.r.e. équidirective consiste à ajouter, pour chaque fréquence de rayonnement, la puissance maximale produite par l'émetteur radar (dBm) au gain directionnel maximal (dBi) de l'antenne en essais. Autrement dit, une seule valeur doit caractériser l'antenne aux fréquences auxquelles le rayonnement de l'émetteur radar a été observé.

Considérez que les effets du défaut d'adaptation de l'antenne en essais sont automatiquement pris en compte dans les mesures du gain, étant donné que l'équipement d'essai est adapté à 50Ω (impédance nominale des connecteurs coaxiaux) et que les rayonnements sont mesurés dans le récepteur de mesure de 50Ω .

4.10 Résumé

La méthode indirecte, qui est rentable en matière de temps et d'installations, est suffisamment sensible pour permettre de mesurer les valeurs d'émission de faible niveau avec une précision et une répétabilité raisonnables. Elle peut également être appliquée quelles que soient les conditions climatiques et permet d'étendre la plage de fréquences de mesure à 40 GHz ou plus.

APPENDICE 1 DE L'ANNEXE 1

Calcul des facteurs de correction de gain pour une antenne réseau plan au moyen d'un programme logiciel écrit en langage BASIC

```

'*****
Ce programme en langage BASIC permet d'effectuer des calculs en champ éloigné à partir de mesures en champ proche.
Il ne prend en compte que les variations de phase de l'onde reçue résultant de la différence entre le front d'onde RF
sphérique et l'antenne réseau plan. Il ne doit donc être utilisé que pour déterminer l'axe de visée ou le gain d'antenne
maximal à l'infini à partir de mesures en champ proche. Le diagramme de gain d'une antenne n'est pas traité dans ce
contexte.
'*****

'Test data for error -.025 pi radians ; error ~.3 dB
'freq = 3000
'l = 10
'd = 1
'
CLS
'
INPUT "Indiquer la fréquence de l'antenne en MHz "; freq
INPUT "Indiquer maintenant la distance de mesure par rapport à l'antenne en mètres "; l
INPUT "Indiquer la dimension maximale de l'antenne en mètres "; d
'
'
CONST c = 300
CONST pi = 3.141592654#
'
'
lamda = c / freq
num = 100
'
'
```

```

IF d < (5 * lamda) THEN
    PRINT "Les dimensions de l'antenne doivent être supérieures (* 5) à";
    PRINT " la longueur d'onde pour un usage précis de ce programme"
    STOP
END IF
'sum of inphase and quadrature field elements
sumi = 0
sumj = 0
'
'system is symmetrical so integrate from 0 to d/2
FOR i = 0 TO num - 1
    dprime = i * d / (2 * (num - 1))
    phasediff = (1 - ((1 ^ 2) + (dprime ^ 2)) ^ .5) * 2 * pi / lambda
'    PRINT " La différence de phase est ";
'    PRINT USING "##.##"; phasediff;
    icomp = COS(phasediff)
    sumi = sumi + icomp
    jcomp = SIN(phasediff)
    sumj = sumj + jcomp
NEXT i
PRINT " L'erreur de phase maximale est ";
PRINT USING "##.##"; phasediff / pi;
PRINT " * pi rads"
'form final received planar power received from spherical RF wave
res = ((sumj) ^ 2 + (sumi) ^ 2) ^ .5
'PRINT "Le résultat est "; res; "i est "; i; " le nombre est "; num
'Calc gain reduction
gprime = num / res
'
glog = 20 * (LOG(gprime) / LOG(10#))
PRINT "La réduction de gain d'un champ éloigné infini est ";
PRINT USING "##.### "; glog;
PRINT " dB"
END

```
