

## RECOMMANDATION UIT-R SM.1753

**Méthode pour mesurer le bruit radioélectrique**

(Question UIT-R 1/45)

(2006)

**Domaine de compétence**

Pour effectuer des mesures du bruit radioélectrique, il est nécessaire de disposer d'une méthode de mesure uniforme, indépendante de la fréquence, si l'on veut obtenir des résultats comparables, précis et reproductibles entre les différents systèmes de mesure. Dans la présente Recommandation on trouvera un ensemble de processus ou d'étapes qui devront être intégrés dans une procédure de mesure afin d'obtenir des résultats comparables.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que, compte tenu de la mise en œuvre de nouveaux systèmes de radiocommunication (par exemple, technologies de bande ultralarge et communications par courant porteur en ligne), les niveaux de bruit radioélectrique indiqués dans la Recommandation UIT-R P.372 pourraient augmenter;
- b) que, pour une gestion efficace du spectre, les administrations doivent connaître les niveaux exacts de bruit;
- c) qu'il est nécessaire d'harmoniser les méthodes de mesure du bruit pour obtenir des résultats reproductibles susceptibles d'être comparés,

*notant*

- a) que le Manuel sur le contrôle du spectre radioélectrique contient une grande quantité d'informations sur les équipements de mesure et de contrôle des émissions;
- b) que, pour réaliser des mesures du bruit, il faut disposer de spécifications supplémentaires concernant le récepteur,

*recommande*

- 1** que les mesures du bruit radioélectrique soient effectuées conformément à la description qui est donnée dans l'Annexe 1.

**Annexe 1****Méthode pour mesurer le bruit radioélectrique****1 Introduction**

La présente Annexe décrit une méthode indépendante de la fréquence pour mesurer le bruit radioélectrique dans le cadre des applications pratiques de radiocommunication.

## 2 Propriétés du bruit

Dans la Recommandation UIT-R P.372, le bruit radioélectrique est défini comme étant la somme des bruits causés par des émissions de sources multiples qui ne proviennent pas des émetteurs de radiocommunication. Si, dans un emplacement de mesure donné, il n'y a pas de prédominance de bruit émanant d'une source unique le bruit radioélectrique se caractérise par une distribution normale d'amplitude et peut être considéré comme étant du bruit blanc gaussien. Les signaux provenant de sources uniques, comme les impulsions et les porteuses continues, sortent du cadre des mesures du bruit radioélectrique dont traite cette Recommandation et ne doivent donc pas être pris en considération.

## 3 Spécifications de l'équipement

### 3.1 Récepteur

Pour réaliser les mesures, on peut utiliser un récepteur ou un analyseur de spectre normalisé et transportable, matériel qui devra néanmoins répondre à un certain nombre de critères supplémentaires tels que: faible bruit de fond de l'équipement, fréquence élevée et stabilité de gain, qui sont indispensables pour les mesures du bruit. Le Tableau 1 ne décrit pas un nouvel ensemble de spécifications du récepteur de mesure mais signale uniquement les critères additionnels ou spécifiques qui sont nécessaires pour un récepteur destiné à mesurer le bruit radioélectrique. De même, la bande de fréquences qui sera choisie est fondée sur la mise en œuvre pratique d'un système de mesure du bruit et ne met en évidence aucun système de réception précis.

TABLEAU 1

#### Récepteur

Fonction	Gamme de fréquences		
	9 kHz - 30 MHz	30 - 500 MHz	0,5 - 3 GHz
Taux d'ondes stationnaires (TOS) à l'entrée (entrée de l'antenne)	50 $\Omega$ , nominal <1,5		
Interception du troisième ordre	$\geq 20$ dBm (>3 MHz)	$\geq 10$ dBm	$\geq 0$ dBm
Interception du deuxième ordre	$\geq 60$ dBm (>3 MHz)	$\geq 50$ dBm	–
Présélection	Ensemble de filtres à sous-octave ou filtre de poursuite	Filtre de poursuite ou fixe Filtre passe-bas/passe-haut	
Facteur de bruit	15 dB (> 2 MHz)		
Sensibilité (500 Hz dans les bandes inférieures)	-10 dB $\mu$ V	-7 dB $\mu$ V	-7 dB $\mu$ V
Faible bruit de phase	-120 dBc/Hz par décalage de fréquence de 10 kHz	-100 dBc/Hz par décalage de fréquence de 10 kHz	-100 dBc/Hz par décalage de fréquence de 10 kHz
Affaiblissement à fréquence intermédiaire	> 80 dB	> 90 dB	> 100 dB
Affaiblissement de la fréquence conjuguée	> 80 dB	> 90 dB	> 100 dB
Commande automatique de gain (CAG)	Aucune CAG ne devra être appliquée aux résultats des mesures		
Compatibilité électromagnétique de la configuration de mesure, y compris les ordinateurs et l'interface	L'ensemble des brouillages émis et reçus par la configuration de mesure devrait être > de plus de 10 dB au bruit moyen à mesurer		

La sélectivité de la fréquence intermédiaire entre 6 et 60 dB devrait être connue de façon exacte pour calculer la largeur de bande de bruit équivalente lorsqu'il faut comparer les mesures obtenues avec différents filtres de fréquence intermédiaire.

### 3.2 Amplificateur à faible bruit

Un amplificateur à faible bruit (LNA) est nécessaire pour les fréquences  $>$  à 20 MHz.

Afin de garantir une exactitude raisonnable des mesures, il faut maintenir le bruit mesuré à au moins 10 dB au-dessus du bruit de fond de l'équipement si l'on utilise un détecteur quadratique. Un amplificateur à faible bruit peut contribuer à la réalisation de cet objectif. Les critères applicables à un tel amplificateur sont indiqués au Tableau 2 qui ne décrit pas un nouvel ensemble de récepteurs de mesure ou de spécifications applicables au LNA mais signale uniquement les critères additionnels ou spécifiques qui sont nécessaires pour un LNA destiné à effectuer des mesures du bruit.

TABLEAU 2

#### Amplificateur à faible bruit (LNA)

Fonction	Gamme de fréquences		
	20 - 50 MHz	50 - 500 MHz	0,5 - 3 GHz
Taux d'ondes stationnaires (TOS) à l'entrée (entrée de l'antenne)	50 $\Omega$ , nominal $<$ 1,5		
Gain	$\leq$ 18 dB	$\leq$ 25 dB	$\leq$ 25 dB
Stabilité de gain	$\leq$ 0,1 dB à 10-30° C		
Facteur de bruit	$\leq$ 2 dB	$\leq$ 2 dB	$\leq$ 2 dB
Platitude du gain sur la gamme de fréquences considérée	$<$ 0,1 dB	$<$ 0,2 dB	$<$ 0,5 dB

Lorsqu'on utilise un LNA, il faut veiller à ne pas surcharger le récepteur. Il est possible d'appliquer un filtre de bande externe pour éviter la surcharge.

### 3.3 Antennes

Bien qu'il n'existe pas d'antenne universelle susceptible d'être utilisée pour tous les types de mesures du bruit, ainsi que pour toutes les gammes de fréquences, il y a néanmoins certaines conditions générales à respecter. En effet, le diagramme de rayonnement de l'antenne doit être optimisé pour le mode de propagation du bruit à mesurer, par exemple, en ondes ionosphériques ou en ondes directes. De plus, le gain doit être aussi constant que possible pour l'ouverture correspondante de réception. Bien qu'il soit affecté par les conditions environnementales, le bruit en soi n'est pas polarisé de sorte qu'il faudrait de préférence utiliser une antenne ou un ensemble d'antennes qui soient indépendantes de la polarisation. S'agissant des antennes placées dans un environnement où les sources de bruit sont réparties uniformément autour de l'antenne, le diagramme d'antenne joue un rôle moins important que dans les cas où le bruit est reçu à partir d'un angle défini. Dans le premier cas, il suffit d'utiliser comme facteur de correction le rendement de l'antenne ou le gain moyen pour l'ouverture totale de l'antenne. Cela est particulièrement vrai avec les mesures effectuées dans les gammes de fréquences plus élevées. Plus les fréquences sont basses plus les propriétés tridimensionnelles du diagramme de l'antenne jouent un rôle important.

### **3.4 Analyse de l'incertitude**

Le résultat final de la mesure devrait refléter une valeur réelle qui pourra être reproduite même lorsqu'une autre configuration de mesure est utilisée. Il faut non seulement déterminer la précision moyenne mais également l'intervalle dans lequel les valeurs peuvent varier. Pour chaque mesure, il convient de déterminer l'incertitude globale qui résulte de toutes les sources d'incertitude. On trouvera des informations en la matière dans le «Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure» de l'ISO.

## **4 Méthode/algorithme de mesure**

Pour mesurer le bruit il existe essentiellement, deux méthodes différentes: la première utilise un détecteur quadratique pour déterminer la puissance de bruit, alors que la seconde utilise un échantillonnage brut avec un détecteur d'échantillon. Les deux méthodes fournissent des résultats identiques mais leurs moyens de présenter et de traiter les données sont différents. Bien que la première méthode se prête davantage aux mesures effectuées dans les bandes d'ondes décimétriques, la seconde est plus indiquée pour les mesures effectuées dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques.

### **4.1 Choix d'une fréquence ou d'une bande de fréquences**

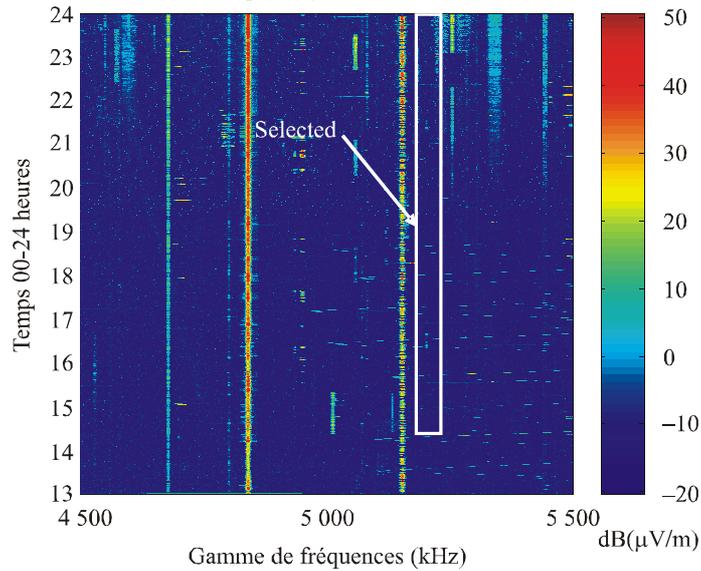
Il est possible de faire des mesures sur une seule fréquence (canal) ou dans une certaine bande de fréquences (par exemple, 100 kHz). Il est possible de réaliser ces observations de manière automatique et de traiter les résultats selon un protocole prédéfini.

Lorsqu'il s'agit d'explorer une bande de fréquences on obtient les meilleurs résultats en termes de qualité en mesurant une bande de fréquences avec le plus petit nombre possible de signaux de grande intensité. Il est possible d'utiliser des données provenant de mesures historiques ou de réaliser une mesure d'essai pour choisir une bande peu occupée dans laquelle les mesures définitives seront effectuées. S'il s'agit de mesurer une seule fréquence, il faut qu'elle soit occupée uniquement par des signaux brouilleurs pendant un faible pourcentage du temps au cours de l'enregistrement. Dans ce cas également, il est possible de recourir à des données historiques. Bien que la méthode des données brutes puisse être utilisée avec un balayage fréquentiel, il est plus pratique d'effectuer des mesures sur une seule fréquence.

FIGURE 1

**Déterminer un créneau de fréquence dans la bande des 5 MHz**

© TSO NERA, spectrogramme, date: 04-09-2003



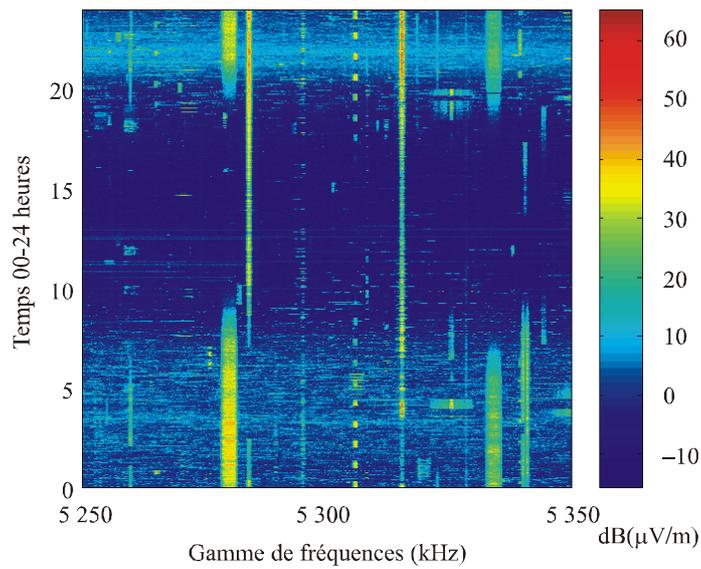
1753-01

Dans l'exemple de la Fig. 1, on mesure le segment de bande de 4 500 à 5 500 kHz pendant 24 h et on en sélectionne une partie, en l'occurrence (5 250 à 5 350 kHz), pour effectuer d'autres mesures. La Fig. 2 montre le résultat obtenu avec une mesure réalisée durant 24 h dans cette bande qui sert à déterminer le niveau du bruit.

FIGURE 2

**Choix de la bande 5 250-5 350 kHz**

© TSO NERA, spectrogramme, date: 05-09-2003



1753-02

## 4.2 Réglages de l'analyseur/récepteur

Certains réglages qui fournissent des résultats utilisables, sont indiqués dans le Tableau 3:

TABLEAU 3  
Réglages de l'analyseur/récepteur

Durée de la mesure	Il est utile d'obtenir un résultat toutes les 10 ou 20 s, de sorte que le temps de balayage, d'exploration ou de traitement des données brutes devrait être compris entre 10 et 20 s.
Gamme de fréquences	La gamme de fréquences pour réaliser les observations dépend entièrement de l'utilisation de la bande de fréquences choisie, laquelle peut même être divisée en sous-bandes ou en fréquences en fonction de ses caractéristiques.
Exploitation en bande inversée (RBW)	En cas d'utilisation de la méthode du balayage de fréquence, la largeur de bande du filtre appliqué dépend de la plage de fréquences divisée par la résolution requise. La méthode de l'échantillonnage de données brutes nécessite une RBW correspondant à au moins deux fois la fréquence d'échantillonnage. Le facteur de forme du filtre devrait être déterminé de telle façon qu'il soit possible de comparer les résultats des mesures effectuées à partir de différents récepteurs.
Détecteur	Pour mesurer la puissance de bruit, il faut un véritable détecteur quadratique (RMS); tout autre détecteur est inapproprié. Lorsque les valeurs mesurées sont inférieures de 10 dB par rapport au bruit de fond de l'équipement, il faut régler ce détecteur en fonction des spécifications du client. Pour appliquer la méthode de données brutes, il faut utiliser un détecteur d'échantillon car le traitement, y compris les calculs de la valeur quadratique moyenne, sont effectués ultérieurement.
Atténuateur	3 dB Il est nécessaire d'avoir un atténuateur pour obtenir une impédance définie à l'entrée du récepteur afin de garantir que l'incertitude de la mesure est réduite.
Présélecteur	Activé

## 4.3 Période de mesure

La période de mesure devrait être choisie en fonction du temps pendant lequel on peut s'attendre à des changements significatifs dans le bruit mesuré. Par exemple, pour tenir compte des différences diurnes et nocturnes, il convient normalement de mesurer chaque bande de fréquences en ondes décimétriques pendant une période supérieure ou égale à 24 heures. Pour tenir compte des variations saisonnières, les mesures devraient être répétées un certain nombre de fois par an. Par ailleurs, il existe d'autres raisons non liées à la propagation qui justifient que les mesures soient effectuées pendant des périodes de 24 heures ou plus. Par exemple, un bruit d'origine local peut varier pendant une période de 24 heures si l'équipement est connecté durant les heures ouvrables.

## 4.4 Post-traitement

Un analyseur de spectre explore une bande de fréquences en suivant un certain nombre d'échelons (intervalles de fréquences). Le nombre normal d'intervalles de fréquences que peuvent explorer des analyseurs de spectre modernes est compris entre 500 et 10 000. Si le temps d'exploration est, par exemple, de 10 s, les mesures génèrent une base de données (matrice) de  $500 \times 8\,600$  à  $10\,000 \times 8\,600$  valeurs d'intensité de champ. Si l'on veut exclure certaines parties de la mesure et appliquer des méthodes statistiques différentes, il conviendrait d'appliquer ultérieurement un logiciel spécialisé à cette base de données.

#### 4.4.1 Séquence de traitement et de représentation des données

Dans le Tableau 4 on trouvera les différentes étapes de traitement qui sont nécessaires pour les différentes méthodes de mesure.

TABLEAU 4  
Étapes de traitement

Étape de traitement	Balayage de fréquence	Fréquence unique	Echantillonnage de données brutes
Corriger les résultats obtenus pour le facteur $K$ de l'antenne (voir le § 4.5.1)	x	x	x
Corriger les résultats obtenus en ce qui concerne le bruit de l'équipement (voir le § 4.5.2)	x	x	x
Introduire les corrections nécessaires pour tenir compte de la forme/largeur de bande du filtre (voir le § 4.5.3)	x	x	x
Représenter la puissance surfacique des échantillons de données brutes			x
Calculer la valeur quadratique moyenne pour chaque bloc d'échantillons de données brutes			x
Choisir des échantillons contenant du bruit en: <ul style="list-style-type: none"> <li>– sélectionnant chaque balayage de la matrice dans l'ordre ascendant</li> <li>– séparant les échantillons avec bruit et sans bruit en enlevant le 20% (ou le <math>x\%</math>) des valeurs les plus basses</li> <li>– validant le pourcentage choisi du 20% (ou le <math>x\%</math>) (voir le § 4.6)</li> <li>– apportant les corrections nécessaires pour prendre en compte le 20% (ou le <math>x\%</math>) des valeurs (voir le § 4.5.4)</li> </ul>	x	x	Facultatif
Calculer la moyenne du $x\%$ choisi dans chaque balayage	x	x	Facultatif
Calculer les valeurs minimale, moyenne et maximale correspondantes après 10 ou $n$ balayages	x	x	Facultatif
Représenter les résultats: valeurs minimale, moyenne et maximale	x	x	Facultatif

#### 4.5 Corrections à appliquer

Dans les différentes étapes du post-traitement, il convient d'appliquer un certain nombre de corrections comme cela a déjà été indiqué au § 4.4.1.

##### 4.5.1 Correction des résultats obtenus pour le facteur $K$ de l'antenne

Il y a lieu de corriger chaque point de fréquence de mesure en appliquant le facteur  $K$  approprié, en particulier dans le cas des antennes à bande étroite utilisées pour effectuer des mesures en demi-bande large. Il convient de rappeler que ces antennes ne devraient pas être exploitées en dehors de leur gamme de fréquences en raison des modifications pouvant être introduites dans le diagramme de l'antenne. Comme indiqué au § 3.3, l'application des facteurs de correction dépend de la situation des mesures.

#### 4.5.2 Introduction de corrections pour tenir compte du bruit de l'équipement

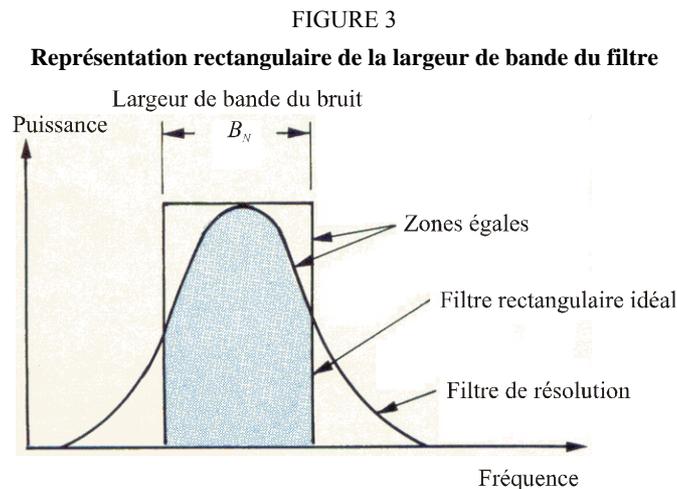
Les signaux qui sont appelés à être mesurés sont en fait des signaux superposés au bruit de l'équipement. La procédure appliquée est la suivante. On effectue la mesure pendant une période limitée sans qu'aucune source ne soit connectée (antenne passive), mais les amplificateurs à faible bruit sont connectés et disposent d'une terminaison appropriée et on utilise les mêmes réglages que pour la mesure initiale. Il faut ensuite choisir les échantillons ayant la valeur la plus basse en appliquant la même méthode et les mêmes pourcentages que lors de la mesure initiale et soustraire linéairement cette valeur par rapport à la valeur du niveau moyen mesuré.

#### 4.5.3 Introduction de corrections pour tenir compte du 20% ou du $x\%$ des valeurs

En appliquant la méthode des 20%, on filtre les composantes de bruit indésirables, par exemple, les porteuses. Cette méthode permet aussi de filtrer le bruit utile. Il est nécessaire d'appliquer un facteur de correction pour compenser l'erreur qui a été introduite. Cette erreur peut être déterminée à l'aide d'une source de bruit gaussien et des réglages proprement dits à utiliser dans les mesures (filtre FI, filtre vidéo et pourcentage  $x\%$  recherché). Lorsqu'on souhaite mesurer un type précis de bruit, il faut utiliser d'autres sources de bruit.

#### 4.5.4 Introduction de corrections pour tenir compte de la forme/largeur de bande du filtre

S'il est vrai que dans le contrôle du spectre radioélectrique on a tendance à parler des niveaux de bruit, le bruit est presque toujours exprimé en puissance/largeur de bande. Par conséquent, il faut intégrer la largeur de bande du filtre et la représenter essentiellement sous une forme rectangulaire.



1753-03

Si l'on veut comparer les mesures effectuées avec deux RBW différentes, il faut appliquer à l'un des résultats un facteur de correction qui soit égal au rapport existant entre les deux RBW. Ainsi, pour convertir les mesures effectuées avec le mode  $RBW_1$  en mesures effectuées avec le mode  $RBW_2$ , il faut appliquer une correction de:

$$10 \log (RBW_2/RBW_1)$$

aux valeurs mesurées (dB).

Pour obtenir des résultats indépendants de la largeur de bande, on normalise les valeurs mesurées au niveau du bruit thermique qui peut être calculé comme suit:

$$P_0 = K T_0 B$$

où:

$K$ : constante de Boltzmann =  $1,38 \times 10^{-23}$  W/Hz

$T_0$ : température ambiante (K)

$B$ : largeur de bande équivalente de bruit du filtre de mesure.

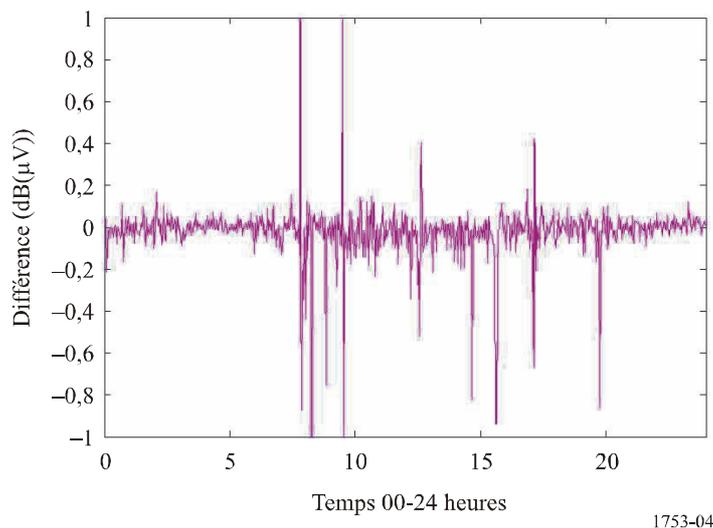
#### 4.6 Validation du pourcentage $x\%$ choisi

Dans le cas des hautes fréquences, il est utile de choisir le 20% des valeurs les plus faibles pour déterminer le niveau du bruit. Pour d'autres gammes de fréquences, il convient de vérifier si cette valeur de 20% est correcte ou s'il faudrait appliquer une autre valeur. On suppose que le  $x\%$  des valeurs contient uniquement des échantillons de bruit. En pareil cas, les valeurs médiane et moyenne devraient être les mêmes. Pour s'en assurer, un test pratique peut être effectué: il s'agit de déterminer la différence entre la valeur moyenne et la valeur médiane, différence qui est nécessairement influencée par des signaux provenant d'autres sources que le bruit.

FIGURE 4

##### Différence entre les valeurs moyennes et médianes (choix de 20% des valeurs)

© TSO NERA; différence entre les valeurs médiane et moyenne ( $x\%$ );  
bande de fréquences: 10,2-10,4 MHz; date: 27-07-2004

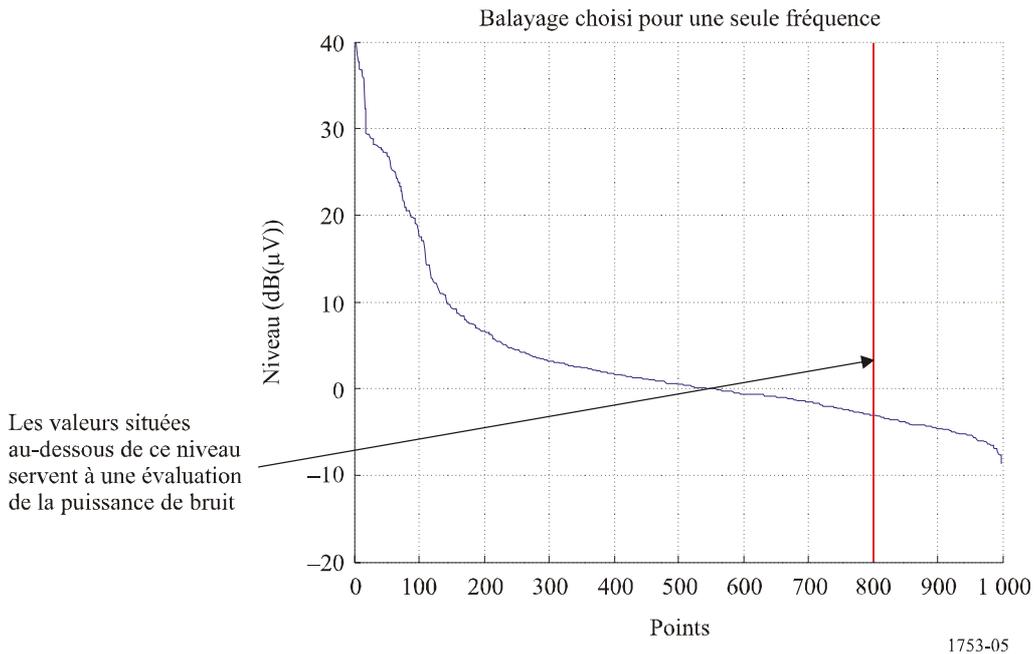


Le graphique ci-dessus montre, à titre d'exemple, la différence entre les valeurs moyenne et médiane pour tous les balayages, avec un pourcentage fixe de 20%. La période d'observation est de 24 h (00:00 à 23:59). Entre 7 h et 20 h, sous l'effet des orages, la courbe représentant la distribution du 20% des valeurs comporte de grandes pentes et, par conséquent, d'importantes différences entre les valeurs de puissance médiane et moyenne.

Un autre essai permettrait de vérifier si la courbe située à droite du point «20%» est régulière et présente une pente douce. L'une et l'autre méthode exigent un étalonnage *a priori*. Par ailleurs, il est nécessaire d'utiliser un nombre significatif d'échantillons dans les calculs: par exemple, on ne peut utiliser un seul échantillon pour effectuer ce type d'essai.

FIGURE 5

Balayage choisi au hasard avec des valeurs sélectionnées



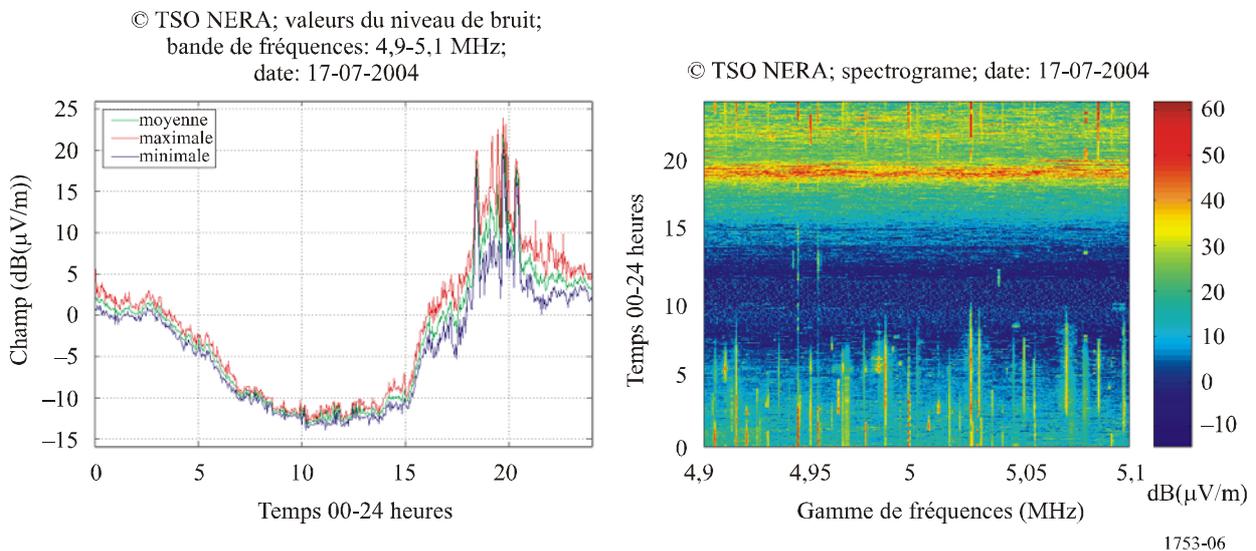
5 Graphiques

Dans les gammes de fréquences inférieures à 30 MHz, le bruit radioélectrique varie de façon significative tout au long de la journée. Il faut donc représenter les résultats des calculs sur une période de 24 h.

On trouvera ci-après un exemple de résultats de mesures effectuées à 5 MHz (4,9-5,1 MHz). Les valeurs maximale, moyenne et minimale obtenues pendant 24 h (calculées conformément au § 4.4.1) sont indiquées sur le graphique de gauche. Le spectrogramme qui contient tous les balayages effectués pendant une période de 24 h est représenté sur le graphique de droite.

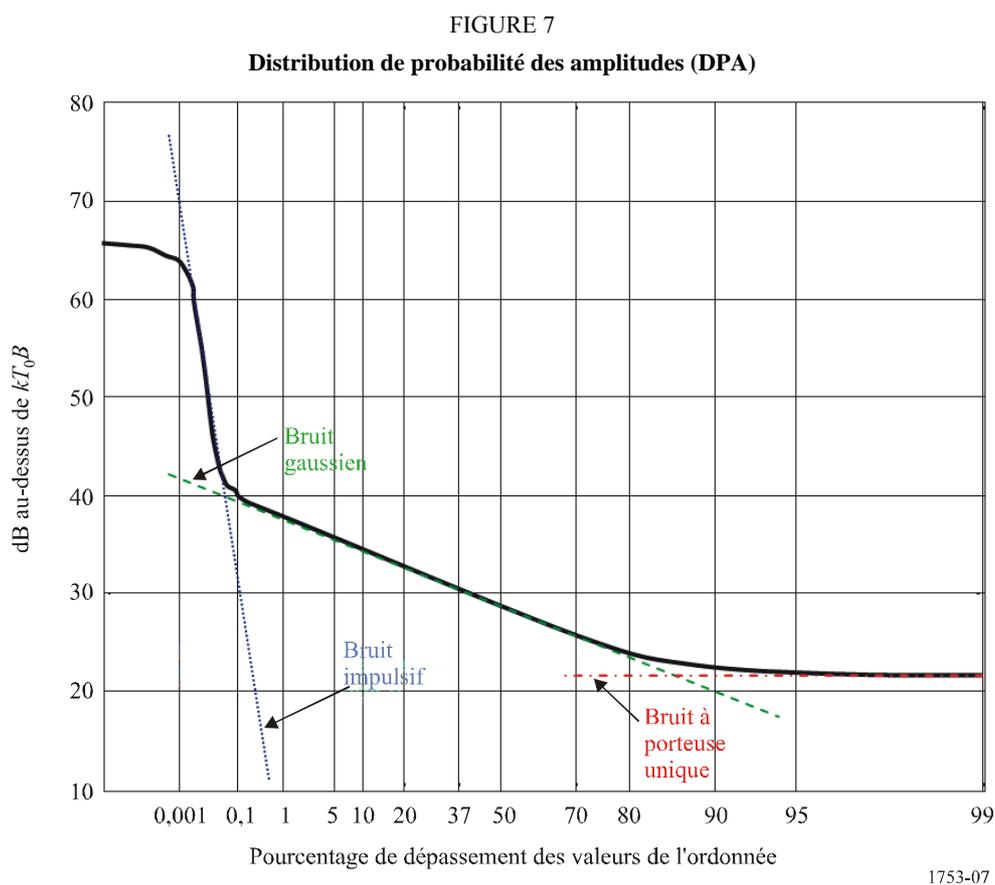
FIGURE 6

Valeurs moyenne, maximale et minimale et spectrogramme pendant une période de 24 h



Dans la gamme des ondes métriques/décimétriques, le niveau de bruit radioélectrique est constant pendant la journée mais dépend essentiellement de l'emplacement où le bruit est mesuré (par exemple, ville/entreprise, foyer, zone rurale). S'il faut regrouper tous les échantillons pour obtenir une valeur caractéristique, il est préférable d'utiliser le graphique appelé DPA (distribution de probabilité des amplitudes). Ce graphique représente le pourcentage d'échantillons de mesure qui dépasse une certaine amplitude.

La Fig. 7 montre les résultats d'une mesure effectuée à 410 MHz dans un environnement résidentiel.



Les valeurs de l'abscisse du graphique DPA suivent une échelle de Rayleigh. Cette échelle permet de séparer facilement les différents types de bruit: le bruit blanc est indiqué par une ligne droite en pente (au milieu du graphique). Le profil ascendant vers la gauche indique le niveau impulsif provenant de sources uniques. La partie à droite qui présente une faible pente est due à des porteuses uniques de sources voisines.

La valeur efficace globale est de 37%.