

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Rapport UIT-R SM.2155
(09/2009)

**Mesures du bruit artificiel dans la gamme
des ondes décamétriques**

Série SM
Gestion du spectre



Union
internationale des
télécommunications

Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Rapports UIT-R

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

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

Note: Ce Rapport UIT-R a été approuvé en anglais par la Commission d'études aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2010

© UIT 2010

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RAPPORT UIT-R SM.2155

Mesures du bruit artificiel dans la gamme des ondes décimétriques

(2009)

1 Introduction, contexte

Le bruit radioélectrique provenant de différentes sources provoque à l'étage d'entrée des récepteurs un certain niveau RF de bruit de fond, que les signaux utiles doivent dépasser pour pouvoir être reçus de façon satisfaisante. La Recommandation UIT-R P.372 définit le terme bruit radioélectrique ainsi que ses différentes sources et indique des valeurs moyennes pour chaque source séparément. Au-dessous de 1 GHz, le bruit prédominant peut provenir d'une ou de plusieurs des sources suivantes, en fonction de la fréquence:

- bruit galactique;
- bruit atmosphérique dû aux éclairs;
- bruit artificiel.

Dans la gamme de fréquences des ondes décimétriques, on rencontre généralement un mélange de bruit atmosphérique et de bruit artificiel, tandis que dans la gamme des ondes métriques/décimétriques, on rencontre essentiellement du bruit artificiel.

Le bruit atmosphérique provient principalement des éclairs. Ses valeurs moyennes sont bien établies et ne sont pas susceptibles de beaucoup évoluer sur une longue période. Quant au bruit artificiel, il s'agit de la somme cumulative de toutes les émissions non voulues produites par plusieurs équipements électriques et électroniques, y compris les émissions produites par les systèmes de télécommunication filaires (lignes électriques, réseaux locaux, etc.). Le niveau du bruit artificiel dépend fortement de la densité et de la nature des ces sources émettrices de bruit. Il peut en outre beaucoup évoluer sur plusieurs années. Le présent Rapport donne des solutions pratiques pour mesurer le bruit artificiel au-dessous de 30 MHz.

En raison de la propagation, de la forte occupation des fréquences et de la quasi-inexistence d'antennes sans perte, il est beaucoup plus difficile de mesurer le bruit radioélectrique au-dessous de 30 MHz qu'au-dessus.

Une partie importante du bruit radioélectrique est le bruit artificiel résultant des émissions brouilleuses des dispositifs électriques et électroniques. Les émissions produites par chacun de ces dispositifs peuvent être classées dans les catégories suivantes:

- *bruit blanc gaussien*: émissions qui ont une distribution d'amplitude de type bruit et dont la largeur de bande est généralement supérieure à la largeur de bande de mesure;
- *bruit impulsionnel*: émissions qui sont présentes uniquement pendant un certain pourcentage de temps, qui sont généralement constituées de trains d'impulsions (salves) de durée limitée et brève et qui se répètent parfois avec une certaine fréquence (fréquence de répétition des impulsions ou PRF);
- *bruit sur une seule porteuse*: émissions dont l'amplitude est plus ou moins constante et dont la largeur de bande est inférieure à la largeur de bande de mesure.

La Recommandation UIT-R P.372 définit le bruit artificiel comme étant la somme de plusieurs émissions produites par un nombre inconnu de sources. Le bruit sur une seule porteuse est

généralement reçu en provenance d'une seule source uniquement et, en tant que tel, est exclu de la définition du bruit artificiel. Lors de la mesure du bruit radioélectrique, il faut s'assurer, par la sélection de l'emplacement et de la fréquence de mesure, que cette partie du bruit artificiel ne prédomine pas dans les résultats. La somme cumulative de nombreuses sources émettant du bruit sur une seule porteuse et du bruit blanc gaussien donne rapidement un signal de type bruit blanc gaussien dans le récepteur, ce qui n'est pas vrai pour de nombreuses sources de bruit impulsionnel. En effet, dans un enregistrement sur une longue période de bruit artificiel contenant des impulsions provenant de plusieurs centaines de sources différentes, on pourra toujours distinguer les caractéristiques des impulsions.

La Recommandation UIT-R SM.1753 contient des lignes directrices sur la mesure et l'évaluation du bruit radioélectrique dans toutes les gammes de fréquences. Le présent Rapport décrit plus en détail les mesures du bruit dans la gamme des ondes décimétriques et porte notamment sur l'évaluation du bruit impulsionnel et sur la séparation du bruit artificiel et du bruit atmosphérique. Cette approche correspond à la mesure de «type C» dans la Recommandation UIT-R SM.1753. A titre d'exemple, le Rapport décrit également le système de mesure du bruit artificiel en ondes décimétriques utilisé en Allemagne et les résultats qu'il permet d'obtenir.

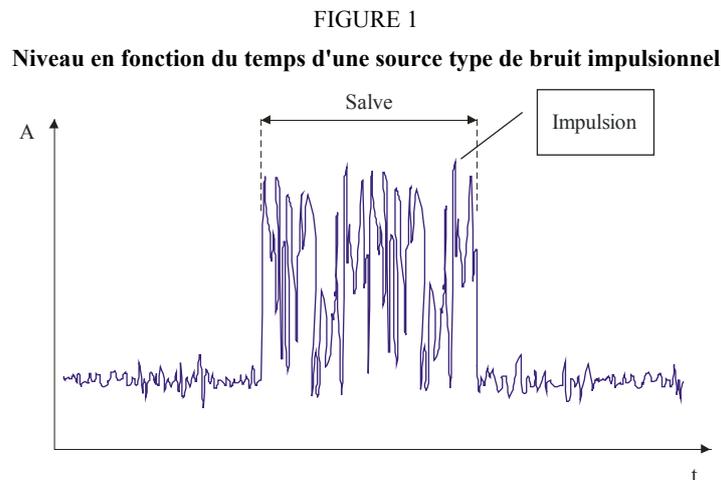
2 Paramètres caractéristiques du bruit artificiel

2.1 Bruit blanc gaussien

Pour le bruit blanc gaussien, il suffit de mesurer le niveau quadratique moyen (RMS) du bruit artificiel, intégré sur une période suffisamment longue (par exemple 1 s). La procédure habituellement suivie consiste à appliquer le détecteur RMS du récepteur de mesure et à enregistrer les résultats indiqués, dont on peut ensuite faire la moyenne sur l'intervalle de temps souhaité (par exemple 1 h).

2.2 Bruit impulsionnel

En règle générale, la fonction type amplitude/temps des sources réelles de bruit impulsionnel n'est pas rectangulaire. En revanche, ces sources émettent une série d'impulsions très brèves qui peuvent être considérées comme étant des salves (voir la Fig. 1).



Pour caractériser le bruit impulsionnel et les risques associés de brouillage des récepteurs de radiocommunication, les paramètres suivants sont particulièrement utiles:

- niveau des impulsions ou des salves;
- longueur des impulsions ou des salves;
- durée entre deux répétitions d'impulsion ou de salve;
- durée totale des impulsions ou des salves en pourcentage.

La plupart des paramètres mentionnés ci-dessus ne peuvent pas être mesurés directement. L'équipement de mesure doit donc collecter des échantillons en utilisant un très haut débit, échantillons qui ne sont pas pondérés par la fonction d'"échantillonnage des données brutes" du détecteur. Les paramètres du bruit impulsionnel et leur distribution statistique sont obtenus ultérieurement dans le cadre du processus d'évaluation.

3 Problèmes et solutions

Dans la gamme des ondes décamétriques, les principaux problèmes rencontrés sont indiqués ci-après. Pour chacun d'eux, une solution est proposée.

- a) Il est impossible de trouver une fréquence de mesure du bruit à laquelle aucune émission utile ou voulue n'est produite pendant toute la durée de la mesure (généralement 24 h) en raison de la forte occupation du spectre dans les ondes décamétriques et de la réception d'émissions éloignées.

Solution: le système de mesure doit sélectionner la fréquence de mesure et en changer automatiquement. Juste avant d'effectuer la mesure réelle, le système balaie la plage de fréquences souhaitée et utilise, pour la mesure qui suit, la fréquence à laquelle le niveau est le plus faible.

- b) Le bruit atmosphérique (par exemple dû aux éclairs) ainsi que certaines émissions voulues, reçus par le biais de la propagation de l'onde ionosphérique, peuvent avoir les mêmes caractéristiques que le bruit artificiel et être difficiles à identifier. Toutefois, si seul le bruit artificiel doit être mesuré, il est nécessaire de séparer le bruit atmosphérique du bruit artificiel causé par des sources locales.

Solution: les mesures du bruit artificiel sont réalisées simultanément à deux emplacements (emplacement de mesure et emplacement de référence). La distance entre les deux emplacements est comprise entre 0,5 km et 10 km. Les équipements sont parfaitement synchronisés temporellement. Les formes d'onde caractéristiques qui sont détectées aux deux emplacements sont supposées être reçues par le biais de l'onde ionosphérique et sont supprimées du résultat de mesure du bruit artificiel par un processus de corrélation.

- c) En raison de la propagation, les émissions des émetteurs de radiodiffusion produisent des niveaux de signal reçu qui sont supérieurs de plus de 100 dB au niveau du bruit artificiel, ce qui entraîne une surcharge de l'équipement de mesure sensible et de faux résultats.

Solution: des filtres passe-bande sont utilisés avant le premier étage d'amplification de l'équipement de mesure. Le niveau du signal dans les bandes utilisées par des systèmes de radiodiffusion est alors réduit d'au moins 20 dB dans la ou les plages de mesure souhaitées. Par ailleurs, on ne peut utiliser d'antenne active avec un préamplificateur intégré car le préamplificateur serait toujours susceptible d'être surchargé vu qu'il serait situé avant le filtre.

- d) En raison de la propagation, le niveau du bruit blanc gaussien dans chaque gamme de fréquences dépendra de l'heure du jour. Il ne suffit donc pas de déterminer une seule valeur

correspondant à la moyenne des résultats de mesure du bruit blanc gaussien collectés pendant toute une journée.

Solution: la mesure est réalisée sur 24 heures. La moyenne des résultats est faite sur chaque heure, ce qui donne 24 valeurs de niveau du bruit blanc gaussien pour chaque mesure.

- e) En raison des grandes longueurs d'onde au-dessous de 30 MHz, il est impossible de réaliser un doublet accordé en espace libre ou n'importe quelle autre antenne sans perte comme cela est supposé dans la Recommandation UIT-R P.372. Dans la pratique, aucune antenne de mesure ne pourra transférer toute l'énergie disponible du champ au récepteur.

Solution: on détermine le facteur d'antenne moyen et on l'utilise pour corriger les valeurs de mesure avant de calculer le facteur de bruit externe.

4 Équipement et montage de mesure

Pour mesurer le bruit artificiel au-dessous de 30 MHz, y compris le bruit impulsionnel, il faut l'équipement suivant.

TABLEAU 1
Spécifications de l'équipement de mesure de base

Partie de l'équipement	Spécifications importantes, remarques
Antenne en ondes décimétriques	Diagramme horizontal: non directif Exemple: antenne unipolaire courte au sol avec éléments radiaux Facteur d'antenne à 5 MHz: ≤ 35 dB ⁽¹⁾ Facteur d'antenne entre 12 et 30 MHz: ≤ 20 dB Câble d'alimentation avec ferrites afin de supprimer les ondes de gaine
Filtre passe-bande en ondes décimétriques pour réduire le niveau du signal dans les bandes utilisées par des systèmes de radiodiffusion	Réduction ≥ 20 dB entre 9-5 000 kHz, 5 600-12 000 kHz, 13 600-19 000 kHz, 21 500-30 000 kHz Affaiblissement dans la bande passante ≤ 4 dB
Amplificateur à faible bruit	Plage de fréquences minimale: 3-30 MHz Gain: ≥ 15 dB Facteur de bruit au-dessous de 10 MHz: ≤ 6 dB Facteur de bruit au-dessus de 10 MHz: ≤ 3 dB
Récepteur de mesure	Analyseur FFT ou analyseur à balayage Vitesse d'échantillonnage: ≥ 20 kHz ⁽²⁾ Durée d'acquisition/de balayage: ≥ 1 s ⁽³⁾ Interface pour le transfert direct des données à l'ordinateur Largeur de bande de résolution: 10 kHz ⁽²⁾
Ordinateur avec logiciel de commande	Configurer et commander le récepteur de mesure Stocker les données Assurer la synchronisation temporelle des équipements ⁽⁴⁾

Notes du Tableau 1:

- (1) Le facteur d'antenne désigne le facteur de conversion à appliquer lors de la conversion de la tension aux bornes de l'antenne en intensité de champ.

Il est généralement donné en dB et utilisé comme suit:

$$E = U + AF$$

où:

E : intensité du champ électrique (dB(μ V/m))

U : tension de sortie de l'antenne (dB(μ V))

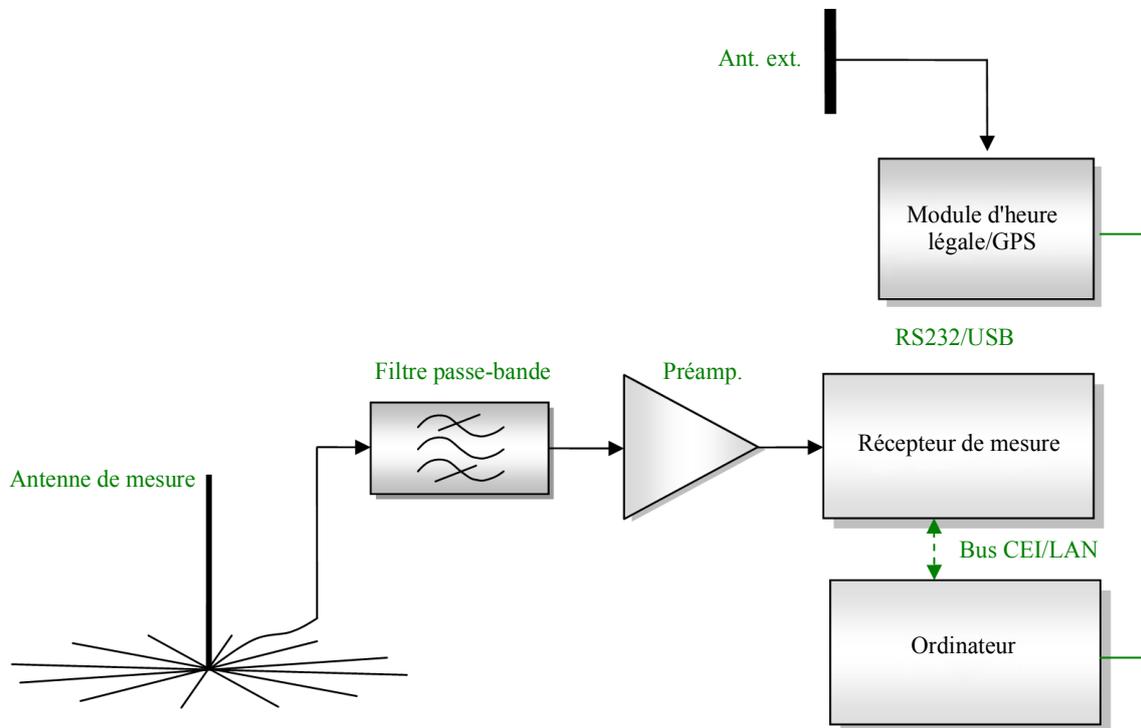
AF : facteur d'antenne (dB)

Il est à noter que, uniquement pour les antennes directives, il faut utiliser le facteur d'antenne moyen, intégré sur tous les angles d'azimut et d'élévation possibles. Lorsque les sources de bruit sont réparties uniformément, la puissance de bruit reçue par une antenne de mesure directive et celle reçue par une antenne isotrope théorique seront les mêmes. Dans ce contexte, on obtient le facteur d'antenne moyen en appliquant une correction appropriée au gain d'antenne dans la direction spécifique.

- (2) La largeur de bande de mesure est basée sur le système de radiodiffusion au-dessous de 30 MHz, avec un espacement des canaux (DRM) de 10 kHz et une largeur de bande maximale de 20 kHz. L'utilisation d'une plus grande largeur de bande de résolution réduirait les chances de trouver une fréquence libre pour la mesure. L'impulsion la plus courte qui peut être entièrement détectée avec une largeur de bande de résolution de 10 kHz est de $2/20 \text{ kHz} = 100 \mu\text{s}$. Pour pouvoir détecter chaque impulsion, la vitesse d'échantillonnage doit être au moins égale au double de la largeur de bande de résolution.
- (3) La durée d'acquisition ou de balayage de 1 s permet de détecter des fréquences de répétition des impulsions/salves à partir de 2 Hz. Les émissions périodiques ayant des fréquences de répétition inférieures sont supposées être plus lentes que la fréquence maximale de trame de toute transmission numérique. L'effet perturbateur de ces signaux sera donc ni plus ni moins semblable à celui d'une seule impulsion.
- (4) Pour assurer la synchronisation temporelle des équipements aux emplacements de mesure et de référence, on peut par exemple raccorder des dispositifs externes (par exemple modules DCF77 ou GPS).

On utilise le montage de mesure suivant:

FIGURE 2
Montage de mesure de base



Report SM.2155-02

5 Procédure de mesure

Comme indiqué plus haut, le système doit trouver une fréquence libre appropriée avant chaque acquisition de données. Pour ce faire, un balayage est effectué sur la totalité de la bande passante du filtre, de préférence avec la même largeur de bande de résolution que pour la mesure réelle et à l'aide d'un détecteur RMS. La fréquence à laquelle le niveau est le plus faible est celle qui est retenue pour la mesure finale suivante du bruit blanc gaussien et du bruit impulsionnel.

Le niveau du bruit blanc gaussien est ensuite mesuré à l'aide d'un détecteur RMS, avec une largeur de bande de résolution étroite (par exemple 100 Hz), une excursion nulle ou faible (par exemple 100 kHz) et une durée d'intégration d'au moins 1 s.

C'est ensuite le niveau du bruit impulsionnel qui est mesuré à l'aide d'un détecteur à échantillonnage, avec une excursion nulle, une largeur de bande de résolution de 10 kHz et une durée d'acquisition de 1 s ou plus. Pendant chaque seconde, au moins 10 000 échantillons doivent être pris et stockés.

Il suffit de répéter ces mesures dans chaque plage de fréquences toutes les 5 min.

Le processus de synchronisation temporelle doit garantir que les mesures du bruit impulsionnel aux emplacements de mesure et de référence sont toujours faites exactement au même moment avec un décalage maximal d'environ 100 ms, ce qui garantira un chevauchement temporel suffisant (90%) des acquisitions du bruit impulsionnel à partir des deux emplacements.

Pour caractériser le bruit artificiel, il est recommandé de réaliser des mesures dans au moins 3 plages de fréquences différentes, réparties uniformément sur l'ensemble de la gamme des ondes

décamétriques allant de 3 à 30 MHz. Il convient d'éviter les bandes utilisées par des systèmes de radiodiffusion car elles sont fortement occupées par des émetteurs de forte puissance, donnant lieu à des niveaux élevés de signal reçu. Il convient de privilégier les bandes qui sont utilisées par des systèmes mobiles et qui ne sont occupées que pendant de courtes durées (par exemple 4-5, 12-13 et 19-20 MHz).

6 Evaluation des mesures

6.1 Bruit blanc gaussien

Dans la Recommandation UIT-R P.372, il est proposé de présenter le résultat de mesure du bruit blanc gaussien sous la forme d'un facteur de bruit externe F_a . Ce facteur est déterminé à partir du niveau de bruit qui serait reçu en provenance d'une antenne isotrope sans perte adaptée, que l'on rapporte à une largeur de bande de 1 Hz et que l'on présente en dB au-dessus du bruit thermique (kTB , généralement fixé à -174 dBm/Hz).

Exemple: si le niveau du bruit artificiel (corrigé) est de -120 dBm mesuré dans une largeur de bande de résolution de 100 Hz, le niveau correspondant dans une largeur de bande de résolution de 1 Hz serait de -140 dBm, soit 34 dB au-dessus de kTB .

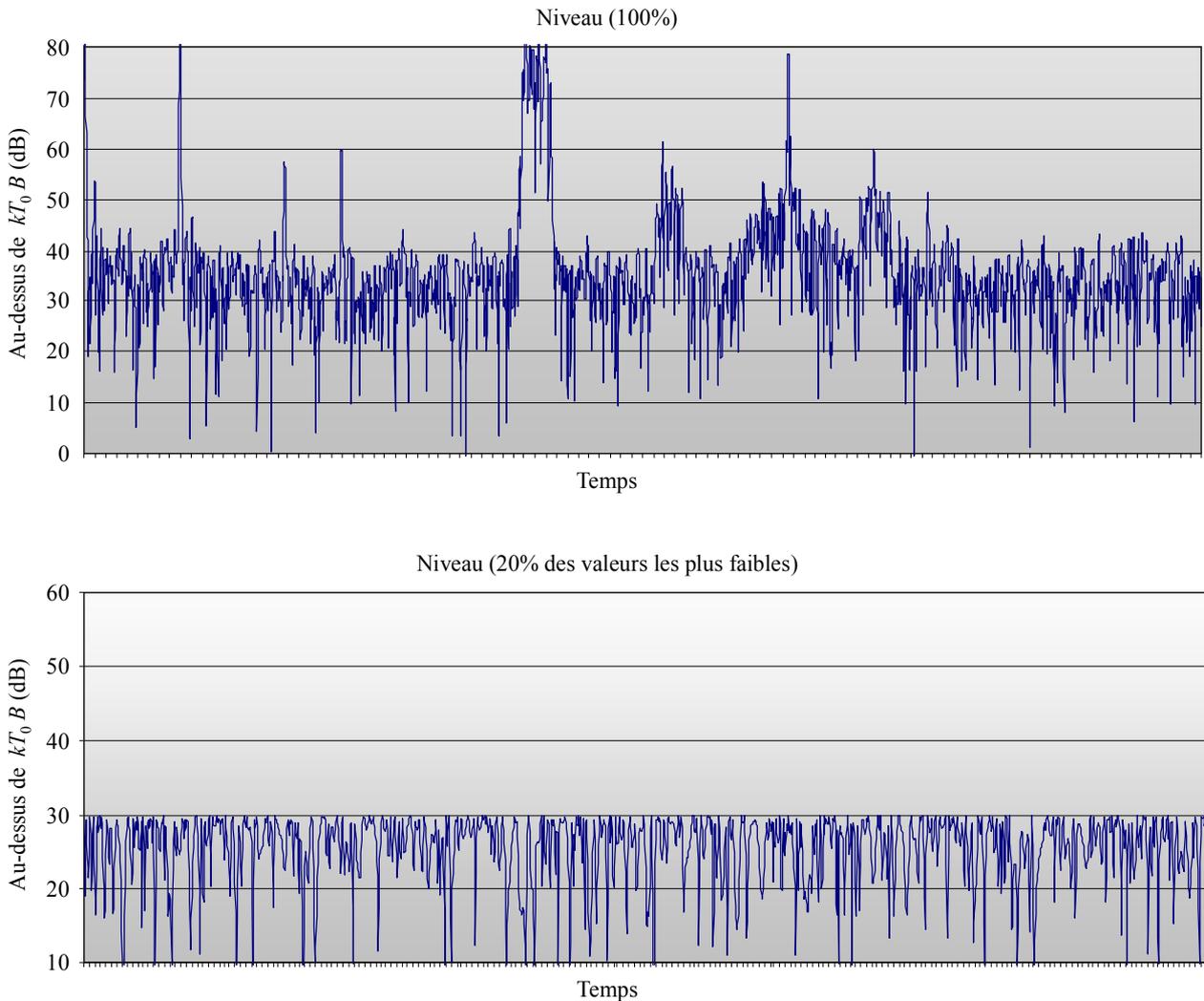
Si, comme dans la plupart des cas, on ne peut pas supposer que l'antenne de mesure est sans perte, il faut appliquer une correction, ce qui est décrit en détail dans la Recommandation UIT-R SM.1753.

Lorsqu'on ne peut pas supposer qu'aucune émission voulue n'est produite sur la totalité de la plage de mesure, il faut déterminer le niveau du bruit blanc gaussien à partir de tous les échantillons RMS en utilisant la méthode des 20% décrite dans la Recommandation UIT-R SM.1753. Parmi toutes les valeurs mesurées, on enlève les 80% des échantillons représentant les niveaux les plus élevés et on ne garde que les 20% des échantillons représentant les niveaux les plus faibles (voir la Fig. 3), ce qui permet de supprimer les émissions voulues du résultat. Une moyenne linéaire est faite sur les valeurs restantes. Toutefois, en enlevant 80% de tous les échantillons de mesure, on supprime également certains niveaux élevés du bruit blanc gaussien. Il faut donc appliquer une correction au résultat moyenné. Pour déterminer cette correction, on applique un bruit blanc gaussien pur au système de mesure (provenant par exemple d'une source de bruit) et on procède à un enregistrement pendant un moment avec les mêmes réglages que ceux utilisés pour la mesure réelle du bruit artificiel. La correction à appliquer est la différence entre la moyenne linéaire de tous les échantillons (100%) et celle des 20% des échantillons ayant les niveaux les plus faibles issus de la mesure avec la source de bruit.

NOTE 1 – Cette méthode permettra aussi d'éliminer tout bruit atmosphérique impulsionnel (par exemple dû aux éclairs) du résultat de F_a , et d'obtenir ainsi une bonne estimation du bruit artificiel uniquement.

FIGURE 3

Niveau en fonction du temps pour une seule acquisition



Rapport SM.2155-03

Exemple: Le bruit artificiel, y compris certaines émissions voulues, est mesuré avec une largeur de bande de résolution de 100 Hz. La moyenne pour tous les échantillons, à laquelle est appliquée une correction correspondant à l'antenne utilisée, est de -100 dBm. La moyenne pour les 20% des échantillons ayant les niveaux les plus faibles est de -120 dBm. La mesure du bruit blanc gaussien réel produit par une source de bruit donne une moyenne pour tous les échantillons de -60 dBm et une moyenne pour les 20% des échantillons ayant les niveaux les plus faibles de -70 dBm. La correction à appliquer est de 10 dB, qu'il faut ajouter à la valeur à 20% obtenue à partir de la mesure du bruit artificiel (-120 dBm). Ainsi, le niveau correct du bruit blanc gaussien est de -110 dBm, mesuré dans une largeur de bande de résolution de 100 Hz. Ramené à une largeur de bande de résolution de 1 Hz, le niveau est alors de -130 dBm. Dans l'hypothèse d'un niveau de bruit thermique de -174 dBm/Hz, on obtient finalement un niveau du bruit blanc gaussien de 44 dB au-dessus de kTB .

6.2 Bruit impulsionnel

Contrairement au bruit blanc gaussien, le niveau mesuré du bruit impulsionnel ne suit pas une loi linéaire en fonction de la largeur de bande. En effet, la largeur de bande d'émission des impulsions

très brèves doit être considérée comme plus grande que la largeur de bande de mesure, entraînant une réduction du niveau mesuré. Pour avoir un résultat indépendant de la largeur de bande, les valeurs mesurées sont présentées sous la forme d'une densité et exprimées en (dB(μ V/MHz)). Pour arriver à la présentation finale du niveau du bruit impulsionnel, quatre étapes d'évaluation sont nécessaires:

- a) séparation des échantillons de bruit impulsionnel des échantillons de bruit blanc gaussien;
- b) détection des salves;
- c) comparaison entre l'emplacement de mesure et l'emplacement de référence (type 3 de mesure uniquement);
- d) calcul du niveau/de la densité, de la longueur, de la durée entre deux répétitions et de la durée totale des salves.

6.2.1 Séparation du bruit impulsionnel et du bruit blanc gaussien

Il est nécessaire de séparer les échantillons de bruit impulsionnel des échantillons de bruit blanc gaussien pour les raisons suivantes:

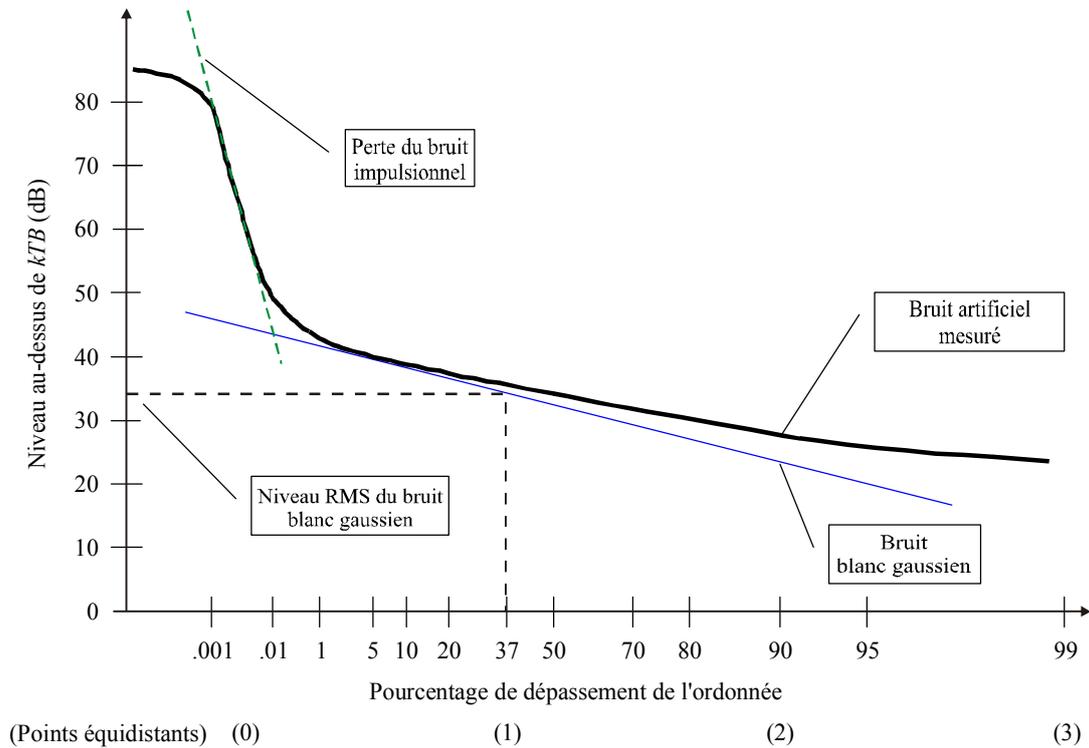
- Les impulsions ne seront présentes que pendant un pourcentage de temps très faible. Si on ne sépare pas le bruit impulsionnel et le bruit blanc gaussien, le bruit blanc gaussien, qui est toujours présent, prédominera largement dans les résultats et on ne verra pas les caractéristiques des quelques impulsions.
- De façon générale, le bruit blanc gaussien peut aussi être considéré comme une série d'impulsions très brèves, mais dans la présentation des statistiques de bruit impulsionnel ne devraient figurer que les crêtes qui proviennent des sources émettant du bruit impulsionnel.

En l'absence de méthode théorique fondée sur une approche mathématique, il est proposé de séparer le bruit impulsionnel du bruit blanc gaussien en utilisant un seuil suffisamment élevé pour supprimer du bruit blanc gaussien toutes (ou presque toutes) les crêtes. Tous les échantillons dépassant le seuil sont définis comme étant du bruit impulsionnel. Une valeur pratique pour le seuil est le facteur CREST (différence entre la valeur de crête et la valeur moyenne du niveau de puissance) du bruit blanc gaussien pur, qui est de 13 dB (valeur pratique qui est également utilisée lors de la commutation entre le détecteur de crête et le détecteur RMS). Il est donc nécessaire de déterminer la puissance moyenne (RMS) des échantillons de bruit blanc gaussien dans chaque acquisition. Les valeurs de niveau du bruit impulsionnel doivent être mesurées à l'aide d'un détecteur à échantillonnage. En raison de l'utilisation d'un échantillonnage rapide des données, le niveau du bruit blanc gaussien peut être calculé suivant la méthode dite APD (distribution de probabilité d'amplitude).

On commence par trier par ordre croissant tous les échantillons de mesure. Puis, pour chaque niveau mesuré de la liste, on compte le nombre d'échantillons qui dépassent ce niveau. On trace ensuite un graphique montrant le pourcentage d'échantillons dépassant chaque niveau mesuré (voir la Fig. 4). Ce graphique est appelé distribution de probabilité d'amplitude (APD).

FIGURE 4

Exemple type de distribution de probabilité d'amplitude (APD)



Rapport SM.2155-04

La partie centrale de la distribution APD caractérise le bruit blanc gaussien. Les faits suivants peuvent être prouvés sur le plan mathématique (cette preuve n'entre toutefois pas dans le cadre du présent Rapport):

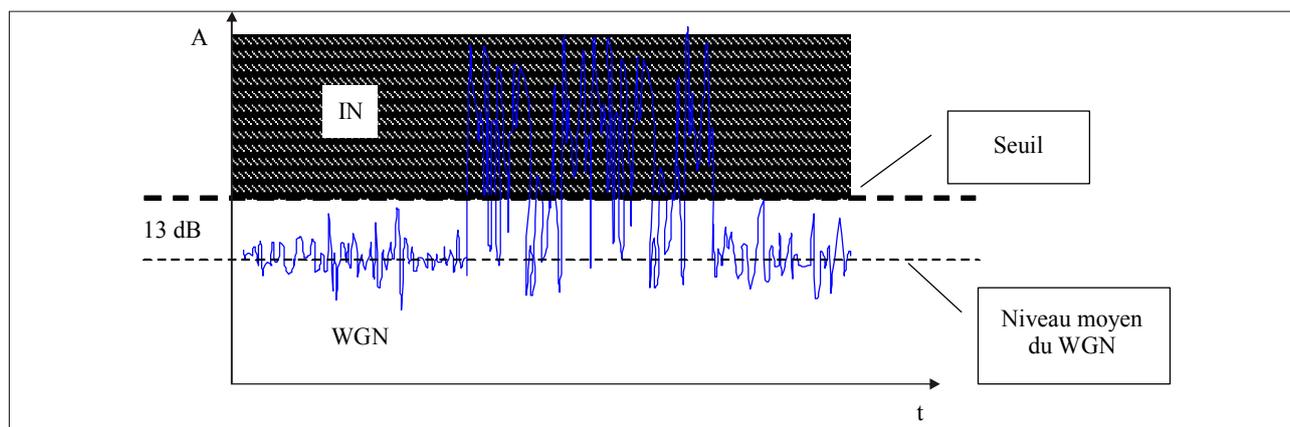
- La distribution APD du bruit blanc gaussien pur est une droite avec une pente de 1/10 lorsqu'on utilise une échelle de Rayleigh sur l'axe des x.
- La pente numérique de 1/10 de la droite représentant le bruit blanc gaussien s'applique à l'équivalent linéaire de l'échelle de Rayleigh. A titre d'exemple, les points 0,0045%, 36,5%, 90,5% et 99% sont équidistants sur l'axe des x, ils correspondent aux valeurs linéaires 0, 1, 2 et 3 (voir au bas de la Fig. 4). On peut utiliser ces valeurs pour tracer la droite représentant le bruit blanc gaussien sur le graphique APD: le niveau augmente de 10 dB de 99% à 90,5%, de 90,5% à 36,8% et de 36,8% à 0,0045%.
- La valeur RMS du bruit blanc gaussien est le niveau sur cette droite au point de probabilité de 37%.

Si, comme dans la plupart des cas, les résultats de mesure contiennent aussi du bruit impulsionnel et du bruit sur une seule porteuse, la distribution APD n'est plus une droite mais la courbe type représentée sur la Fig. 4. Pour déterminer de façon plus précise le niveau RMS du bruit blanc gaussien uniquement, on prend une droite ayant la pente du bruit blanc gaussien pur et on la translate de bas en haut jusqu'à ce qu'elle devienne tangente à la courbe APD mesurée. On obtient alors la valeur RMS du bruit blanc gaussien en lisant le niveau sur cette droite au point de probabilité de 37% (segments en pointillés).

Le seuil pour la séparation du bruit impulsionnel et du bruit blanc gaussien correspond à cette valeur RMS plus 13 dB (voir la Fig. 5).

FIGURE 5

Séparation du bruit impulsionnel (IN) et du bruit blanc gaussien (WGN) sur la base d'un seuil



Report SM.2155-05

Les étapes d'évaluation qui suivent ne s'appliquent qu'aux échantillons de mesure qui dépassent le seuil.

Le principal inconvénient de cette méthode de séparation par rapport aux approches mathématiques pures est une certaine perte de sensibilité: une impulsion ne peut être détectée que si son niveau est supérieur d'au moins 13 dB au niveau moyen du bruit blanc gaussien. Les impulsions plus faibles sont perdues. Cet inconvénient est toutefois acceptable pour les raisons suivantes:

- Les systèmes modernes de radiocommunications numériques sont relativement insensibles au brouillage causé par le bruit impulsionnel. Le niveau de ce brouillage doit être très élevé pour empêcher la réception.
- Le niveau du bruit blanc gaussien présent dans le bruit artificiel est également donné séparément. Afin de fonctionner correctement, un système de radiocommunication doit tenir compte à tout moment de ce niveau constant dans le bruit artificiel, qui inclut déjà les «crêtes» brèves du bruit blanc gaussien dont le niveau va jusqu'à 13 dB au-dessus de la moyenne.

6.2.2 Détection des salves

Dans la plupart des cas, c'est l'énergie RF perturbatrice moyenne qui cause des brouillages aux récepteurs de radiocommunication. Lorsqu'une source de bruit émet une série d'impulsions très brèves ayant une grande largeur de bande RF, le récepteur brouillé les intègre sur la durée de la salve. Il semble logique de faire de même lors de l'évaluation du bruit impulsionnel et des risques de brouillage des systèmes de radiocommunication dû à ce bruit.

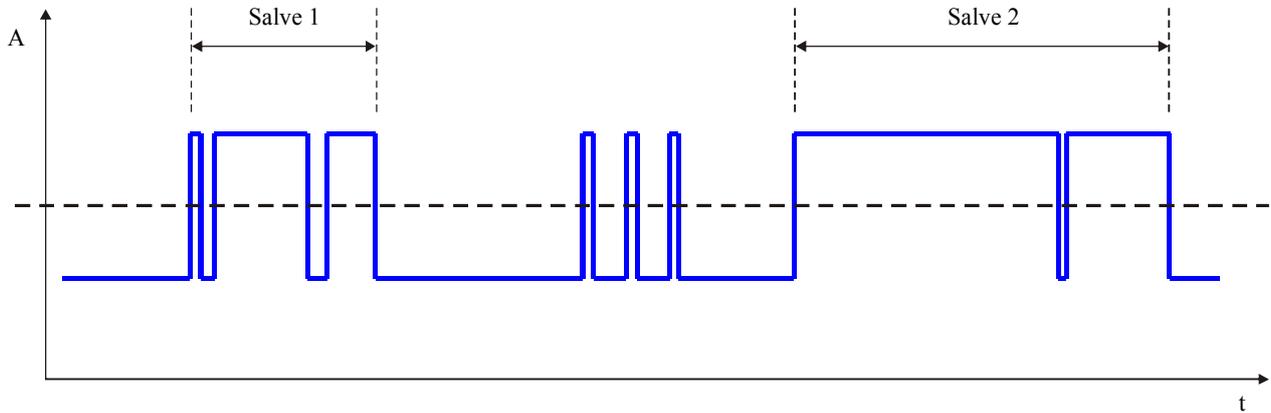
Il est donc proposé de combiner les brefs échantillons de bruit impulsionnel en salves de telle sorte que chaque salve résultante au cours d'une acquisition respecte toutes les conditions suivantes:

- a) Au moins 50% de tous les échantillons d'une salve doivent dépasser le seuil.
- b) Aucun échantillon au cours de 25% de la durée totale de la salve avant le début de la salve ne doit dépasser le seuil, ni aucun échantillon au cours de 25% de la durée totale de la salve après la fin de la salve.

La première condition permet de garantir que la majorité des échantillons d'une salve se trouvent au-dessus du seuil. La deuxième condition établit une «zone de dégagement» minimale autour de chaque salve qui correspond à la moitié de sa longueur et qui est répartie de façon égale de chaque

côté de la salve. La figure qui suit donne quelques exemples avec des impulsions rectangulaires simplifiées.

FIGURE 6
Principe de détection des salves



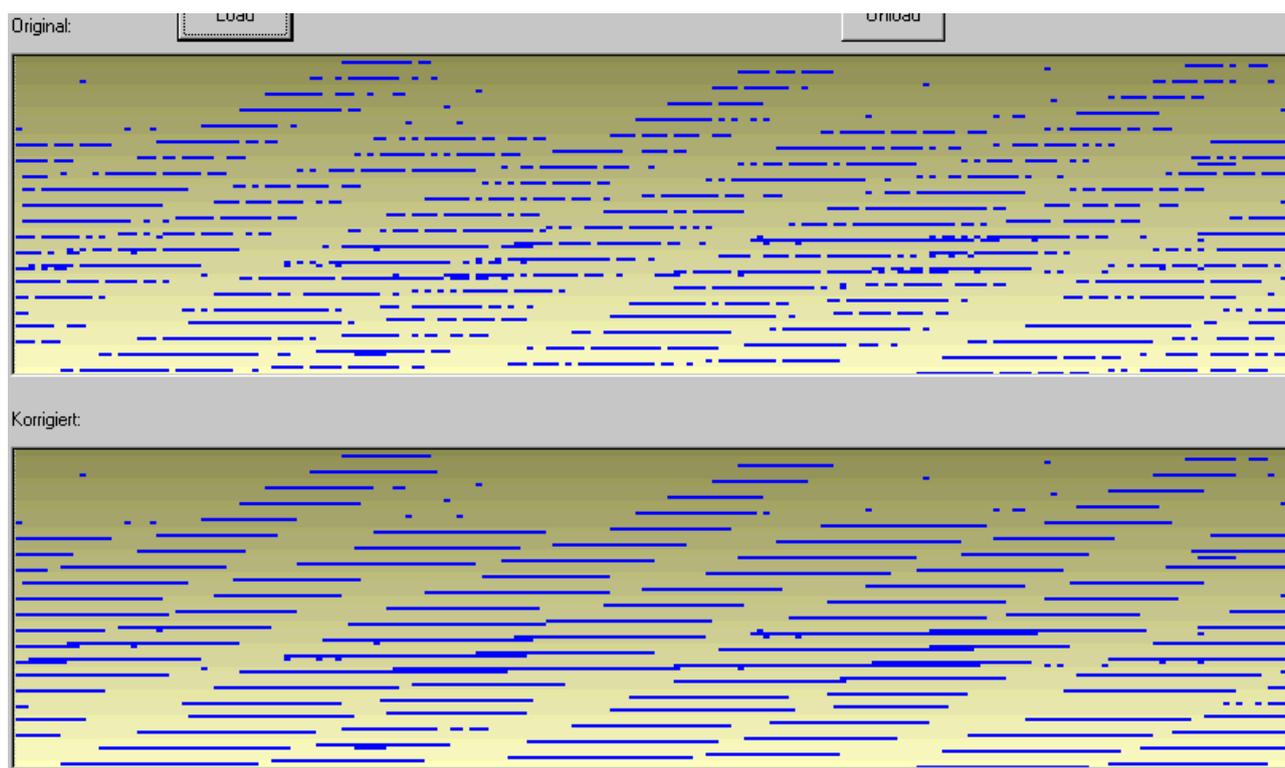
Report SM.2155-06

Les trois premières et les deux dernières impulsions sont fusionnées en salves. La série d'impulsions au milieu ne peut pas être fusionnée car la salve résultante aurait moins de 50% des échantillons au-dessus du seuil. Pour la même raison, la première salve ne peut pas être élargie pour englober les trois impulsions brèves du milieu. Ces trois impulsions ne peuvent pas non plus être incluses dans la deuxième salve car la salve 2 plus longue qui en résulterait n'aurait pas un dégagement suffisant par rapport à la salve 1. Elles restent donc en tant qu'impulsions distinctes.

La Fig. 7 montre le résultat de la détection des salves appliquée à l'acquisition réelle d'une mesure de bruit artificiel.

FIGURE 7

Exemple pratique de détection des salves



Légende:

Données d'origine; Données corrigées

La Fig. 7 indique le niveau en fonction du temps pour un bloc d'acquisition complet de 1 s. Pour que la résolution soit suffisante, le niveau est tracé sur plusieurs lignes de haut en bas, de la même manière que le faisceau électronique d'un récepteur de télévision analogique compose une trame ligne par ligne sur l'écran. Les pixels bleus correspondent à des niveaux dépassant le seuil. La fenêtre du haut montre les données d'origine, tandis que la fenêtre du bas montre le résultat du processus de détection des salves. La principale source de bruit, un dispositif avec une certaine longueur de salve et une fréquence de répétition constante, est facilement repérable (1). Néanmoins, certaines impulsions brèves comprises entre ces salves sont conservées avec la résolution temporelle complète (2).

6.2.3 Calcul des paramètres du bruit impulsionnel

Le processus de détermination du niveau, de la durée et de la durée entre deux répétitions décrit ici est appliqué à chaque salve formée conformément au § 6.2.2 et à chaque impulsion restante qui ne fait pas partie d'une salve. Dans un souci de simplification, on utilise, dans le texte qui suit, le mot «salve» dans les deux cas.

Le niveau d'une salve est la moyenne linéaire de tous les échantillons compris entre le début et la fin de la salve, qu'ils soient au-dessus ou au-dessous du seuil. Cette méthode donne le niveau RF intégré moyen (RMS) présent sur l'ensemble de la durée de la salve, cette valeur déterminant l'effet des brouillages sur les récepteurs de radiocommunication.

Comme indiqué plus haut, le niveau de salve mesuré ne suit pas une loi linéaire en fonction de la largeur de bande. Il est donc souhaitable de l'exprimer en tant que densité et non en tant que niveau absolu. L'unité recommandée est le (dB(μ V/MHz)). On peut obtenir cette densité à partir des résultats de mesure en utilisant la formule suivante:

$$Wg = U + 20 * \log(1 \text{ MHz}/Bw)$$

où:

Wg : densité spectrale (dB(μ V/MHz))

U : tension mesurée à l'entrée du récepteur (dB(μ V))

Bw : largeur de bande de mesure (MHz).

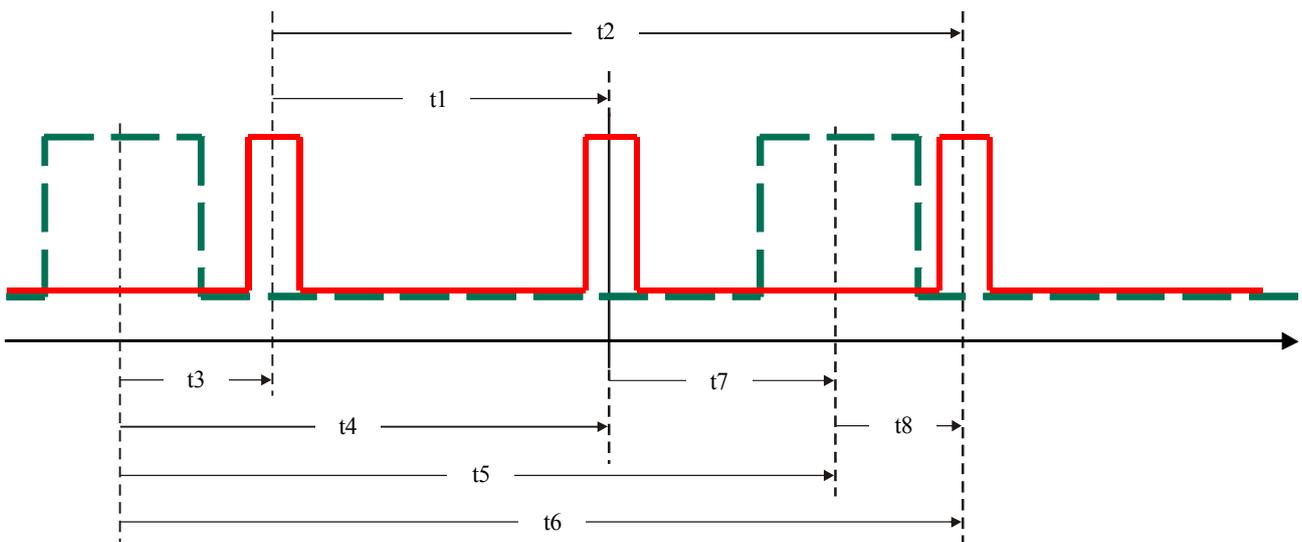
Un autre paramètre relatif au niveau des salves est la fonction donnant l'augmentation de ce niveau en direction des niveaux mesurés les plus élevés. On peut décrire cette fonction au moyen de l'angle ou de la pente caractérisant l'augmentation du bruit impulsionnel sur le graphique APD en direction de la gauche (voir la Fig. 4). Cette pente est celle d'une droite auxiliaire qui est ajustée à la partie la plus raide de la courbe du bruit impulsionnel sur le graphique APD. Elle est calculée par rapport à l'axe des x linéaire tout comme la pente de la droite représentant le bruit blanc gaussien (voir la Fig. 4). Les valeurs de pente du bruit impulsionnel pour tous les balayages sont moyennées sur l'ensemble de la durée d'enregistrement.

La durée d'une salve est la différence de temps entre le premier et le dernier échantillon de la salve qui dépassent le seuil.

La fréquence de répétition de salves est l'inverse de la différence de temps entre les échantillons centraux (ou du milieu) de deux impulsions quelconques au cours d'une acquisition/d'un balayage. Le résultat sera un histogramme de différences de temps d'arrivée. Lorsque plusieurs salves sont détectées au cours d'une même acquisition, il faut déterminer la différence de temps pour chaque combinaison possible, ce qui donne lieu à plusieurs fréquences de répétition (voir la Fig. 8).

FIGURE 8

Principe de détermination de la durée entre deux répétitions de salve



La Fig. 8 montre des signaux provenant de deux sources émettant des trains d'impulsions avec une certaine fréquence de répétition. Le signal en rouge (trait continu) donne lieu aux durées entre deux répétitions t_1 et t_2 . Le fait que ces deux durées soient données dans la présentation des résultats est lié au comportement type d'un service de radiocommunication numérique: un tel service n'est sensible qu'au bruit impulsionnel ayant une certaine fréquence de répétition des impulsions, correspondant généralement à la fréquence de trame. Lorsque la durée d'une trame est égale à t_2 , le système est perturbé car ce sont toujours les mêmes bits à l'intérieur d'une trame qui sont brouillés. L'occurrence de cette durée (t_2) doit apparaître dans la présentation des résultats de mesure du bruit impulsionnel (voir la Fig. 31).

La courbe verte (en tirets) sur la Fig. 8 correspond au signal d'une deuxième source ayant une fréquence de répétition différente. Le calcul de toutes les combinaisons donnera lieu à 8 durées différentes entre deux répétitions pour cette acquisition.

La durée totale des salves renseigne sur la quantité d'impulsions ou de salves se produisant pendant toute une journée. Pour la calculer, on divise le nombre d'échantillons de mesure appartenant à des salves (y compris les échantillons qui sont à l'intérieur des salves et qui se trouvent au-dessous du seuil) par le nombre total d'échantillons dans l'ensemble de l'enregistrement.

6.2.4 Comparaison entre l'emplacement de mesure et l'emplacement de référence

Comme indiqué plus haut, le bruit atmosphérique provenant notamment des éclairs qui est reçu via l'onde ionosphérique peut être éliminé des échantillons de bruit artificiel dans une certaine mesure. Il s'agit des impulsions et des salves reçues simultanément aux deux emplacements. Le bruit artificiel provenant de sources locales ne sera pas reçu à un emplacement éloigné de plusieurs kilomètres.

Les conditions de propagation et de réception peuvent être différentes aux emplacements de mesure et de référence. Pour identifier un signal qui a été reçu aux deux emplacements, il ne suffit donc pas d'évaluer uniquement le niveau du signal. L'algorithme d'identification doit rechercher les augmentations et/ou diminutions soudaines simultanées du niveau de réception, avec une certaine tolérance en termes de niveau et de temps.

La précision demandée de 100 ms en ce qui concerne la synchronisation temporelle entre les deux emplacements et une durée de balayage recommandée de 1 s signifient que le chevauchement des durées de balayage serait d'au moins 900 ms. La première étape de l'évaluation doit consister à déterminer le décalage exact entre les emplacements de mesure et de référence. Comme décrit dans la Recommandation UIT-R SM.1753, on procède pour ce faire par corrélation. Le texte qui suit, illustré sur la Fig. 9, décrit une méthode pratique de calcul:

Etape 1: Calculer le niveau médian d'un balayage aux emplacements de référence et de mesure. Indépendamment du niveau total reçu, 50% de tous les échantillons dans les deux balayages sont situés au-dessus et 50% au-dessous de ce niveau médian.

Etape 2: Chaque échantillon d'un balayage qui est situé au-dessus du niveau médian se voit affecter un indice d'autocorrélation de +1. La valeur -1 est affectée à chaque échantillon situé au-dessous du niveau médian. La somme de tous ces indices affectés pour chaque balayage devrait être égale à 0.

Etape 3: A ce stade, les indices de corrélation affectés sont comparés entre les deux balayages aux emplacements de référence et de mesure. Si les deux indices de corrélation sont égaux, l'indice résultant de corrélation croisée est égal à +1, s'ils sont différents, l'indice est égale à -1 (fonction logique «OU exclusif»). La somme de tous ces résultats est le facteur de corrélation croisée.

Etape 4: Le balayage depuis l'emplacement de mesure est décalé dans le temps d'un échantillon et le facteur de corrélation croisée est calculé à nouveau. Ce processus est répété pour tous les décalages de temps possibles avec un chevauchement de 900 ms. On choisit le décalage pour lequel le facteur

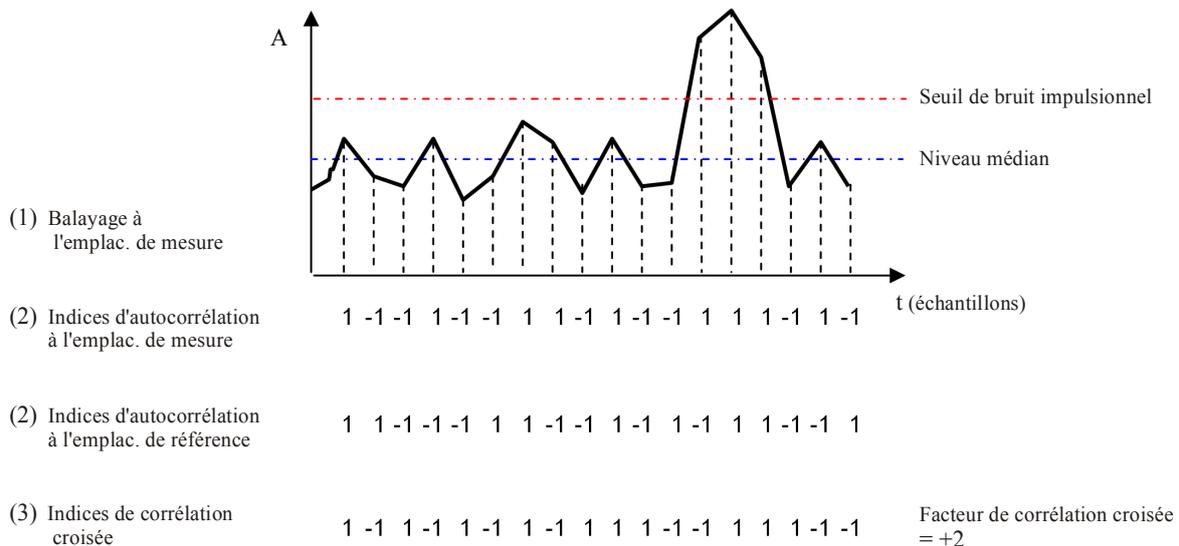
de corrélation croisée est le plus élevé car ce décalage est supposé correspondre à la synchronisation exacte entre les deux balayages.

Etape 5: Les échantillons de début et de fin de la première salve détectée à l'emplacement de mesure sont identifiés (dans l'exemple de la Fig. 9, la première salve commence à l'échantillon 13 et se termine à l'échantillon 16). On détermine ensuite si, pendant plus de 50% de la longueur de la salve, une salve est également détectée à l'emplacement de référence. Si c'est le cas, la salve est supposée être reçue via l'onde ionosphérique et elle est éliminée. Dans le cas contraire, la salve est supposée être d'origine locale (bruit artificiel) et elle est conservée.

Dans l'exemple de la Fig. 9, la salve comprend 4 échantillons, à partir de l'échantillon 13. Donc, si, à l'emplacement de référence, au moins 3 échantillons (> 50%) compris entre les positions 13 et 16 sont au-dessus du seuil, la salve est éliminée et n'est pas prise en compte dans la suite du processus d'évaluation.

L'étape 5 est répétée pour chaque salve d'un balayage. Ensuite, les étapes 1 à 5 sont répétées pour tous les autres balayages de l'enregistrement.

FIGURE 9
Corrélation entre l'emplacement de mesure et l'emplacement de référence



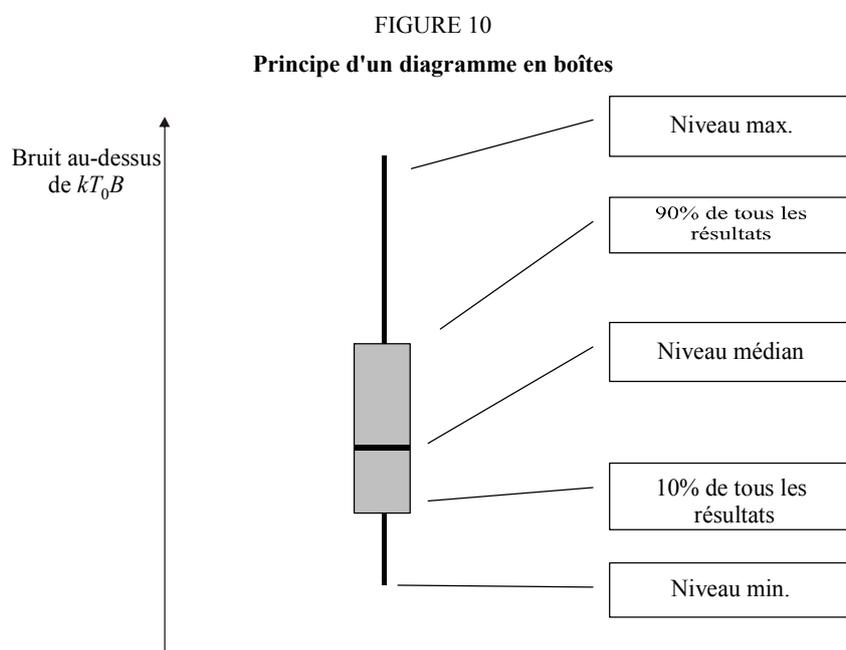
7 Présentation des résultats

7.1 Bruit blanc gaussien

Comme indiqué plus haut, le niveau du bruit blanc gaussien dans la gamme d'ondes décimétriques dépendra de l'heure du jour en raison des conditions de propagation différentes. Il est donc recommandé de faire la moyenne des niveaux du bruit blanc gaussien sur une heure et de présenter 24 valeurs de F_a (dB au-dessus de kTb).

Cependant, le niveau du bruit blanc gaussien à un emplacement donné variera aussi d'un jour à l'autre, et les mesures prises à différents emplacements, y compris de la même catégorie, varieront aussi considérablement. Par conséquent, les niveaux du bruit blanc gaussien ne sont utiles que lorsqu'ils sont moyennés sur un ensemble de mesures faites à différents emplacements et sur

différents jours. Pour donner non seulement des valeurs moyennes ou médianes du bruit blanc gaussien mais aussi certaines informations sur la distribution possible, il est recommandé d'utiliser un diagramme en boîtes pour présenter les résultats. Chaque boîte donne à la fois les valeurs maximale, minimale, médiane et les valeurs du décile supérieur et du décile inférieur (voir la Fig. 10).



Report SM.2155-10

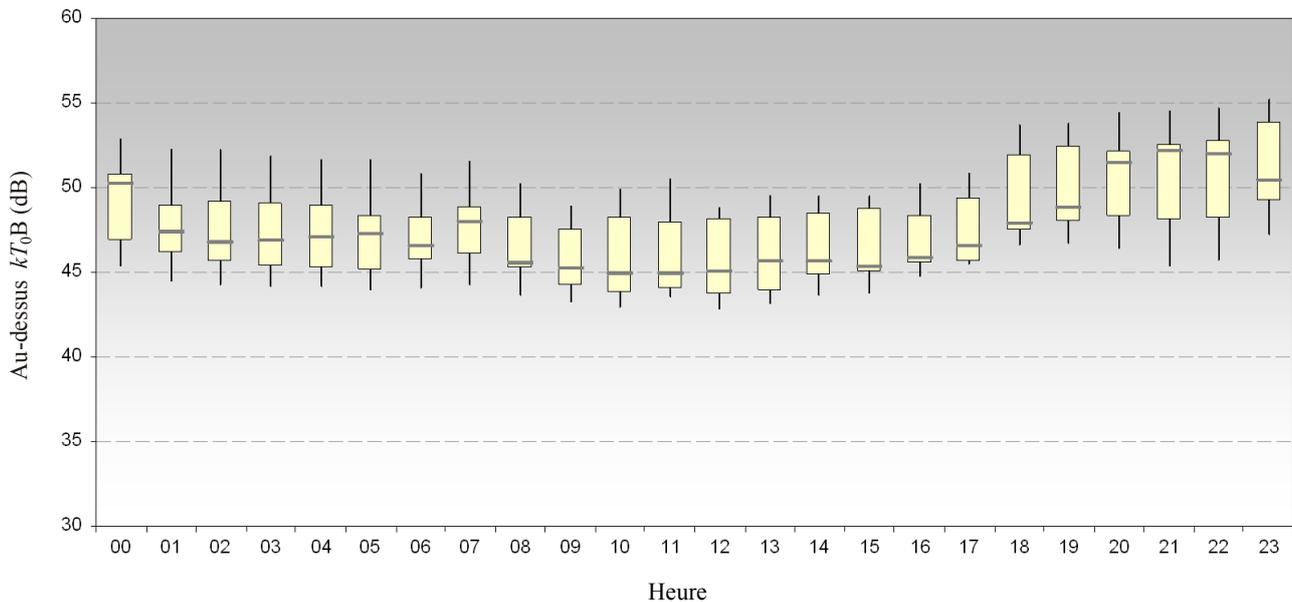
Il faut veiller à ne pas mélanger les mesures correspondant à différentes catégories d'emplacements (par exemple zone urbaine et zone résidentielle) sur un même diagramme en boîtes.

De plus, étant donné que le niveau général du bruit artificiel dépend de la fréquence, seuls les résultats obtenus dans une gamme de fréquences donnée peuvent raisonnablement être combinés sur un même diagramme en boîtes.

FIGURE 11

Exemple type d'un diagramme en boîtes

Bruit blanc gaussien en zone résidentielle à 5 MHz



Report SM.2155-11

Afin de pouvoir éventuellement réviser les valeurs du bruit blanc gaussien données dans la Recommandation UIT-R P.372, l'UIT a créé une banque de données de résultats de mesure du bruit radioélectrique, accessible à l'adresse: <http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=study-groups&link=rsg3&lang=en>. Les Administrations effectuant des mesures du bruit artificiel conformément à la Recommandation UIT-R SM.1753 et/ou au présent Rapport sont invitées à communiquer leurs résultats afin de les inclure dans la banque de données. Des informations sur le format de données requis sont contenues dans la Recommandation UIT-R P.311.

7.2 Bruit impulsionnel

Dans des environnements réels, l'enregistrement sur 24 h inclura de nombreuses impulsions/salves provenant de nombreuses sources différentes et avec un large intervalle de valeurs pour les trois principaux paramètres (niveau, longueur et fréquence de répétition). C'est pourquoi il est nécessaire de présenter les résultats sous forme de distributions statistiques plutôt que de donner uniquement la valeur moyenne de chaque paramètre.

Une fois la comparaison effectuée entre les emplacements de mesure et de référence, seul le bruit impulsionnel provenant de sources proches est pris en considération. Etant donné que ces sources ne dépendent pas des conditions de propagation, il n'est pas nécessaire de donner des valeurs pour chaque heure du jour. En revanche, on peut faire la synthèse de toutes les valeurs obtenues sur l'ensemble de la période de 24 h.

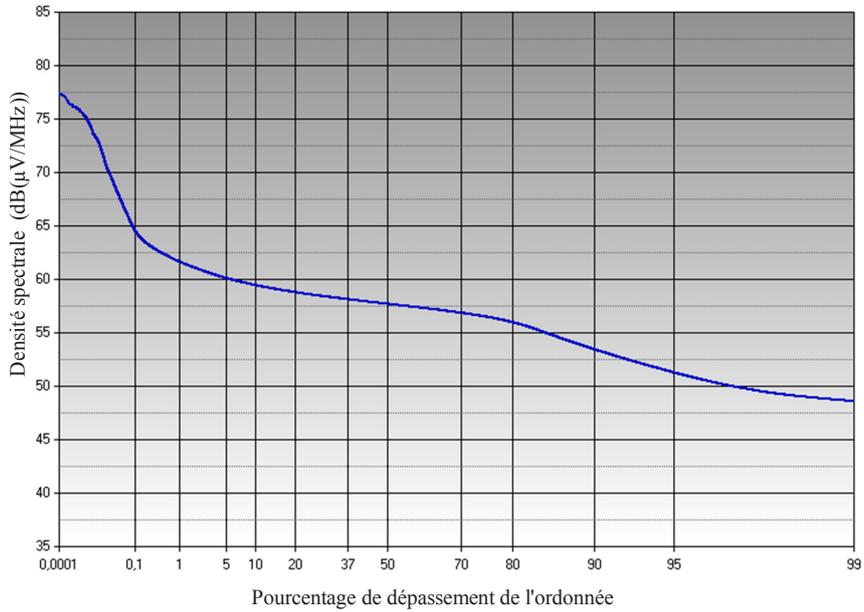
Afin de fournir également des informations sur la fréquence d'apparition du bruit impulsionnel, il est recommandé d'indiquer la durée relative des salves (= nombre relatif d'échantillons de bruit impulsionnel en pourcentage) dans chacune des présentations (voir au bas de la Fig. 13).

7.2.1 Niveau des salves

Les niveaux moyens des salves et les densités spectrales calculés conformément au § 6.2.3 peuvent être présentés sous forme de probabilité cumulative en fonction de la densité spectrale. Un exemple

est donné sur la Fig. 12. La valeur sur l'axe des y indique alors le pourcentage de toutes les salves qui atteignent ou dépassent une certaine densité spectrale.

FIGURE 12
Exemple de distribution de niveau des salves

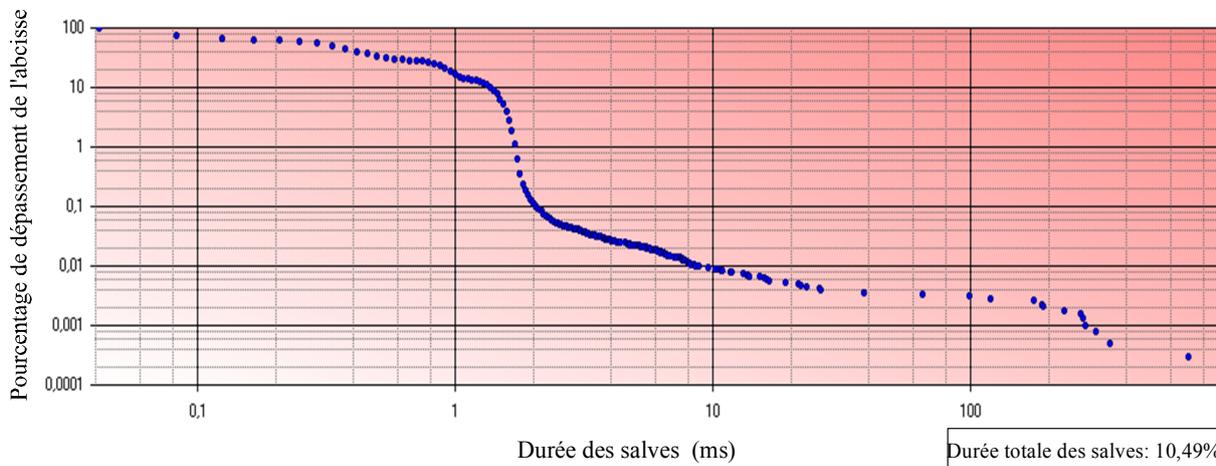


Report SM.2155-12

7.2.2 Durée des salves

Les durées des salves calculées conformément au § 6.2.3 peuvent être présentées sous forme de probabilité cumulative en fonction de la durée (longueur). La valeur sur l'axe des y indique alors le pourcentage de toutes les salves qui atteignent ou dépassent la longueur indiquée sur l'axe des x. Dans un souci de commodité, il est recommandé d'utiliser des échelles logarithmiques sur les deux axes. Un exemple est donné sur la Fig. 13.

FIGURE 13
Exemple de distribution de durée des salves



Report SM.2155-13

7.2.3 Durée entre deux répétitions de salve

Les fréquences de répétition des salves calculées conformément au § 6.2.3 peuvent être présentées sous forme de probabilité en fonction de la fréquence. La valeur sur l'axe des y indique alors le pourcentage de toutes les combinaisons possibles de salves pour lesquelles la durée entre deux répétitions est celle indiquée sur l'axe des x.

NOTE 1 – Le nombre d'occurrences d'un certain espacement des impulsions ne peut pas être utilisé dans le graphique. En effet, au cours d'une acquisition de 1 s par exemple, il peut y avoir 500 salves brèves espacées de 1 ms, correspondant à une fréquence de répétition des salves de 500 Hz. En même temps, il peut y avoir 2 salves provenant d'une autre source et espacées de 500 ms, correspondant à une fréquence de répétition des salves de 2 Hz. Il serait incorrect de compter 500 fois plus de salves rapides que de salves lentes, car cela donnerait l'impression que la fréquence de répétition des salves de 500 Hz est 500 fois plus probable que celle de 2 Hz. Pour corriger cet effet, le nombre d'occurrences d'un certain espacement doit être pondéré avant d'établir le graphique de probabilité. Pour cela, on divise le nombre d'occurrences par le nombre maximal d'occurrences possibles de cet espacement au cours de l'acquisition.

Exemple: La durée d'acquisition est de 1 s, au cours de laquelle 10 000 échantillons ont été pris. La durée entre deux échantillons est donc de 100 µs. On dénombre 1 500 salves avec un espacement de 300 µs (3 échantillons entre deux salves) et 2 salves avec un espacement de 500 ms (5 000 échantillons entre les salves). Si la première source avec une durée entre deux répétitions de 300 µs était présente en permanence, on dénombrerait 3 333 salves au cours de chaque acquisition. La valeur sur le graphique de la distribution de fréquence de répétition des salves est calculée comme suit:

Pour la durée entre deux répétitions de 300 µs: $A = 1\,500 \text{ salves} / 3\,333 \text{ salves} = 45\%$

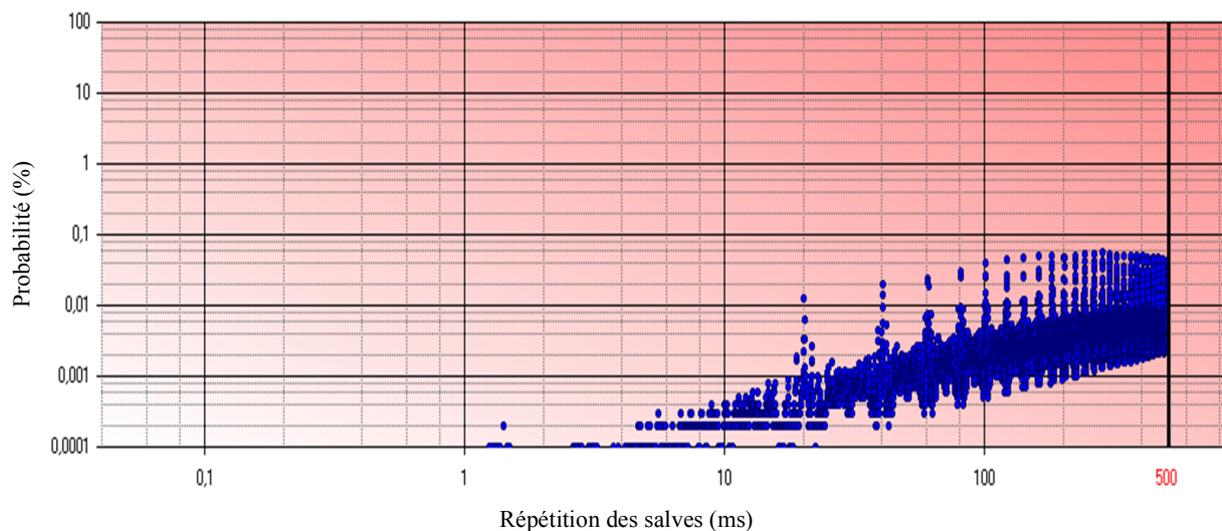
Pour la durée entre deux répétitions de 500 ms: $B = 2 \text{ salves} / 2 \text{ salves} = 100\%$

On procède ainsi pour toutes les durées détectées entre deux répétitions de salve. Le nombre total de toutes les durées différentes, par exemple 25, dans le résultat correspond à 100%. Par conséquent, la probabilité (= valeur sur l'axe des y) est de $45\%/25 = 1,8\%$ pour la durée entre deux répétitions de 300 µs et de $100\%/25 = 4\%$ pour la durée entre deux répétitions de 500 ms.

Un exemple de distribution de durée entre deux répétitions de salve est donné sur la Fig. 14.

FIGURE 14

Exemple de distribution de durée entre deux répétitions de salve



Report SM.2155-14

L'extrémité droite de l'axe des x est déterminée par la durée d'acquisition de 1 s. Compte tenu de cette durée, la plus longue durée détectable entre deux répétitions de salve est de 500 ms. L'exemple de la Fig. 14 fait apparaître une source de bruit impulsionnelle dominante avec une durée entre deux répétitions de 20 ms. Compte tenu du principe décrit au § 6.2.3, des crêtes apparaissent également pour les multiples de 20 ms (40, 60, 80 ms ...).

7.2.4 Durée totale des salves

Jusqu'à maintenant, tous les diagrammes statistiques contenaient uniquement des probabilités relatives des paramètres de bruit impulsionnel. Sur la Fig. 13, par exemple, 0,1% de toutes les salves ont une durée supérieure à 40 ms. Cependant, il peut y avoir 100 ou des millions d'impulsions par heure. Par conséquent, un autre paramètre intéressant est le pourcentage de la durée totale de la mesure qui est occupé par du bruit impulsionnel. La durée totale de toutes les impulsions et salves par rapport à la durée totale d'observation peut être exprimée par une seule valeur (%). Il est recommandé d'indiquer cette valeur sur chacun des graphiques donnant des durées. Sur la Fig. 13, par exemple, 10,49% de tous les échantillons de mesure correspondant à des salves ou à des impulsions (voir l'encadré avec le texte en bas à droite).

8 Mesures du bruit artificiel en Allemagne

Depuis 2007, une vaste campagne de mesures du bruit artificiel dans la gamme des ondes décimétriques est menée en différents endroits en Allemagne. Les résultats de mesure du bruit blanc gaussien seront publiés dans la banque de données de l'UIT relative au bruit radioélectrique.

NOTE 1 – Etant donné que le facteur d'antenne du système de mesure utilisé n'a pas encore été établi, les résultats présentés dans la présente version du Rapport doivent être considérés comme préliminaires. L'incertitude de mesure liée à cette situation est estimée à ± 5 dB.

8.1 Propriétés de l'équipement de mesure

L'équipement de mesure utilisé est décrit ci-après:

TABLEAU 2
Equipement de mesure utilisé en Allemagne

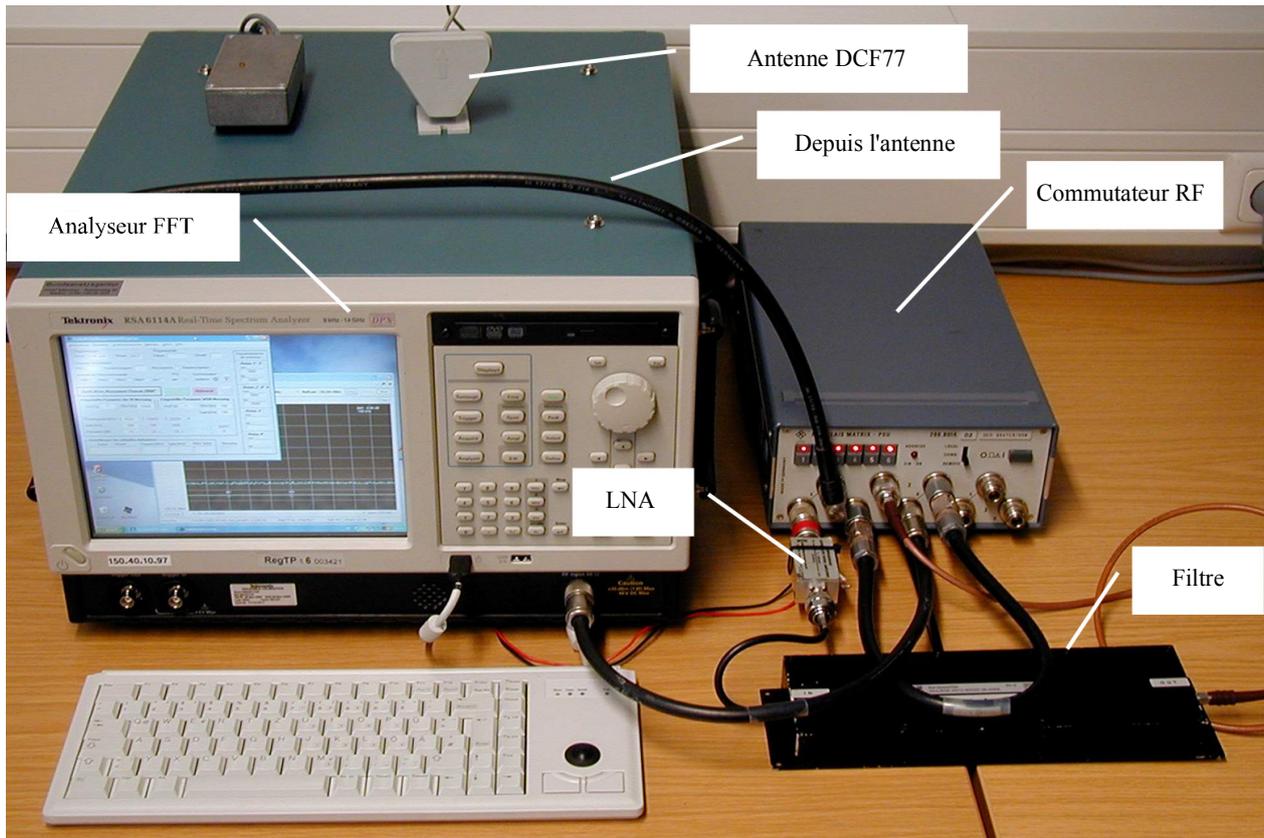
Partie de l'équipement	Propriétés importantes, remarques
Antenne passive en ondes décamétriques	Doublet vertical Longueur: 5 m Hauteur au-dessus du sol: 8-10 m (centre) Facteur d'antenne à 5 MHz: 22 dB Facteur d'antenne à 12 MHz: 28 dB Facteur d'antenne à 20 MHz: 15 dB
Filtre passe-bande en ondes décamétriques	Spécialement conçu pour être adapté aux besoins Réduction ≥ 22 dB entre 9-5 060 kHz, 5 600-12 100 kHz, 13 570-19 020 kHz, 21 540-30 000 kHz Affaiblissement dans la bande passante $\leq 2,5$ dB 3 bandes passantes: 5 210-5 470 kHz, 12 410-13 240 kHz, 19 490-21 070 kHz
Amplificateur à faible bruit (LNA)	Plage de fréquences: 5-1 500 MHz Gain: 20 dB Facteur de bruit: 1,2 dB
Récepteur de mesure	Analyseur FFT Vitesse d'échantillonnage: 2×24 kHz (I/Q) Durée d'acquisition: 1 s Ordinateur intégré avec logiciel de commande Capacité de stockage de données I/Q interne Largeur de bande de résolution: 100 Hz (bruit blanc gaussien), 20 kHz (bruit impulsionnel)
Logiciel de commande et d'évaluation	Développement spécifique (Visual Basic, Excel)
Synchronisation temporelle	Module DCF77 rattaché à l'analyseur via RS232
Commutateur RF	2 circuits de commutation commandés par bus CEI

L'équipement de mesure est intégré à un véhicule de mesure. L'antenne est montée sur le mât rétractable intégré. Dans la plupart des cas, une alimentation électrique externe de 220 V est fournie. Pour les emplacements distants, deux véhicules de mesure ont été équipés d'une batterie de 1260 AH et d'un convertisseur courant continu/continu alternatif sinusoïdal qui permettent aux équipements de fonctionner pendant 24 h sans alimentation électrique externe.

Le commutateur RF de la Fig. 15 peut être utilisé pour contourner le filtre en l'absence d'antenne DCF77 externe. En pareil cas, le logiciel assure aussi la réception directe et l'évaluation du signal DCF77 par l'analyseur FFT à l'aide de l'antenne de mesure. Dans ce mode, la mesure du bruit est suspendue toutes les quelques minutes, l'analyseur est réglé sur 77 kHz pendant un certain temps et le télégramme de données transmis par le signal DCF77 est évalué à l'aide du logiciel pour déterminer l'heure exacte. Comme la fréquence de 77 kHz n'est pas comprise dans les bandes passantes, le filtre doit être contourné pendant ces phases de synchronisation temporelle.

FIGURE 15

Montage de l'équipement de mesure du bruit artificiel en ondes décamétriques



Rapport SM.2155-15

Si le système d'antenne DCF77 externe est présent, le commutateur RF n'est pas nécessaire.

FIGURE 16

Véhicule de mesure du bruit artificiel en ondes décimétriques



Report SM.2155-16

8.2 Procédure de mesure

Les mesures sont réalisées dans les trois plages de fréquences suivantes:

TABLEAU 3

Plages de fréquences de mesure

Plage (MHz)	Fréquence centrale (kHz)	Excursion (kHz)
5	5 331	288
12	12 820	795
20	20 220	1 430

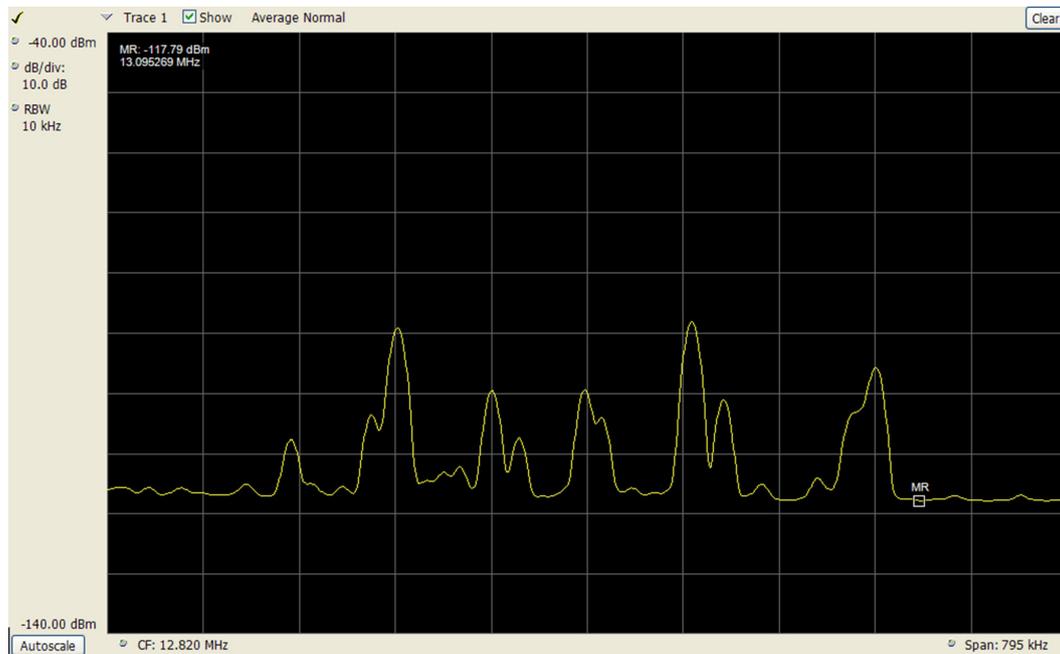
Les mesures suivantes sont effectuées automatiquement pour chacune des plages de fréquences mentionnées ci-dessus les unes après les autres et répétées pendant 24 h:

- 1 Mesure préalable pour déterminer la fréquence à laquelle le niveau du bruit artificiel est le plus faible. Réglages:
Fréquence centrale: voir Tableau 3;
Excursion: voir Tableau 3, largeur de bande de résolution: 10 kHz;

Durée d'acquisition et d'intégration: 1 s;
Détekteur: RMS.

Un exemple est illustré sur la Fig. 17. Le marqueur indique la fréquence à laquelle le niveau est le plus faible et à laquelle (ou au voisinage de laquelle) les mesures suivantes seront faites.

FIGURE 17

Mesure préalable pour déterminer la fréquence de mesure appropriée

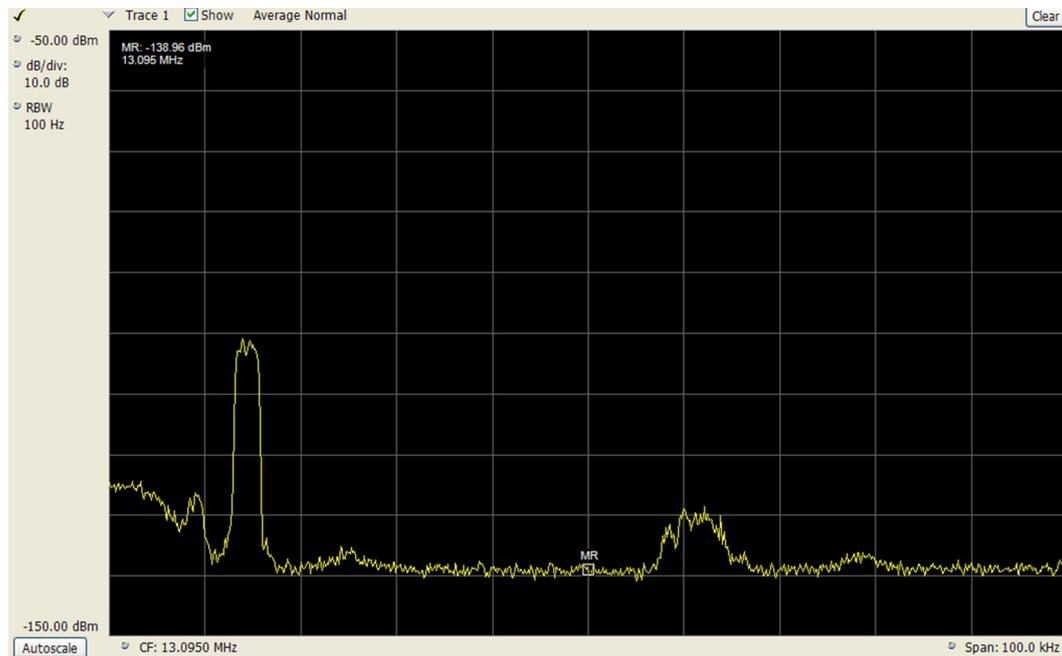
Report SM.2155-17

- 2 Mesure du bruit blanc gaussien. Réglages:
Fréquence centrale: fréquence à laquelle le niveau mesuré lors de la mesure préalable était le plus faible;
Excursion: 100 kHz;
Largeur de bande de résolution: 100 Hz;
Durée d'acquisition et d'intégration: 1 s;
Détekteur: RMS.

Un exemple est illustré sur la Fig. 18.

FIGURE 18

Mesure du bruit blanc gaussien pour déterminer le niveau quadratique moyen du bruit artificiel

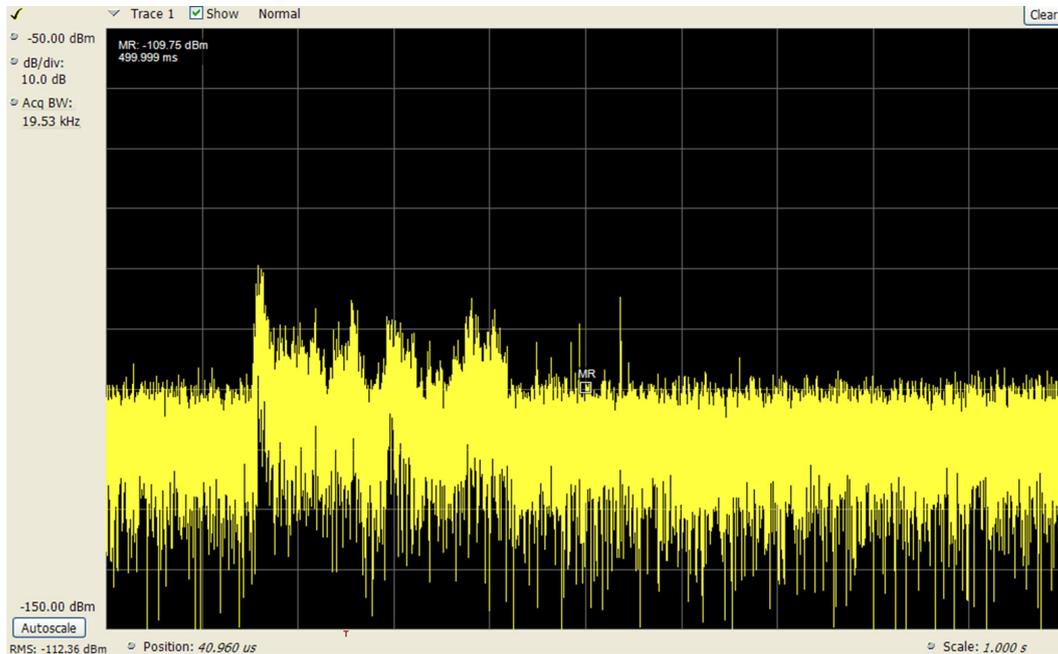


Report SM.2155-18

- 3 Mesure du bruit impulsionnel. Réglages:
Fréquence centrale: fréquence à laquelle le niveau mesuré lors de la mesure préalable était le plus faible;
Excursion: excursion nulle (amplitude en fonction du temps);
Largeur de bande de résolution: 20 kHz;
Durée d'acquisition: 1 s;
Détekteur: à échantillonnage.

Un exemple contenant plusieurs salves est illustré sur la Fig. 19.

FIGURE 19

Mesure du bruit impulsionnel (amplitude en fonction du temps)

Report SM.2155-19

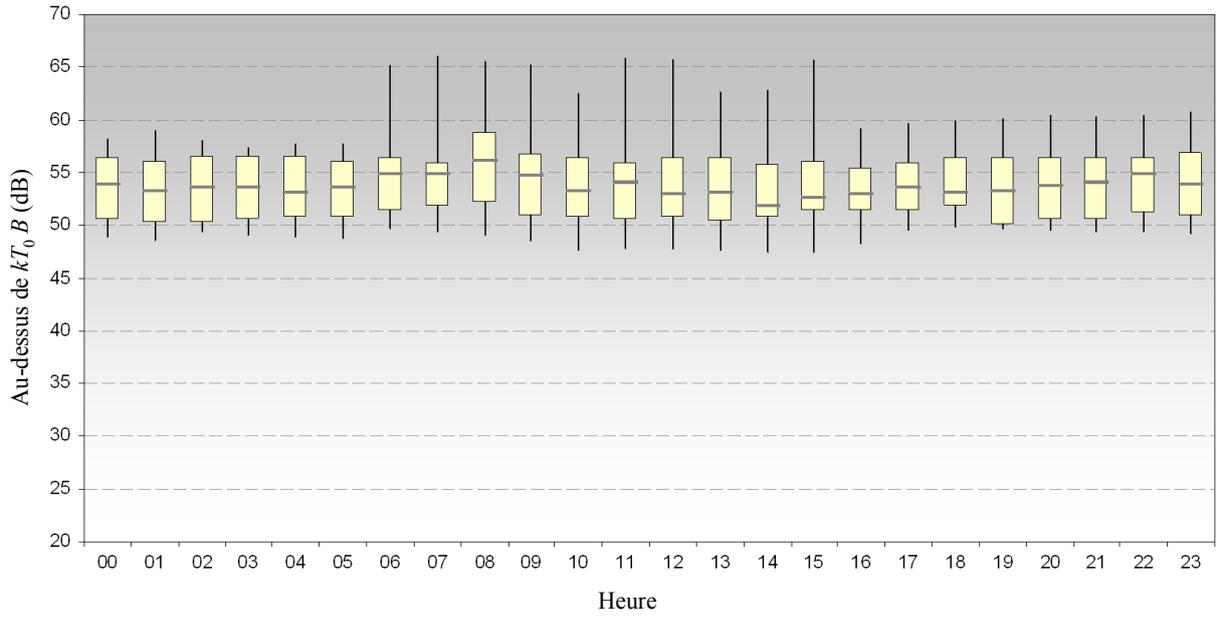
La synchronisation temporelle est réalisée toutes les 7 min environ. Pour cela, le signal DCF77 est décodé via un module d'interface externe et est comparé à l'horloge système de l'ordinateur. La différence de temps est stockée en tant que «décalage» et utilisée pour synchroniser les mesures ultérieures en conséquence. La précision obtenue concernant la synchronisation entre les emplacements de mesure et de référence est meilleure que 100 ms.

8.3 Résultats de mesure

Jusqu'en 2009, des mesures ont été réalisées à plus de 100 emplacements en Allemagne. Les diagrammes en boîtes qui suivent récapitulent les résultats de mesure du bruit blanc gaussien obtenus jusque-là pour chaque catégorie d'emplacements.

FIGURE 20

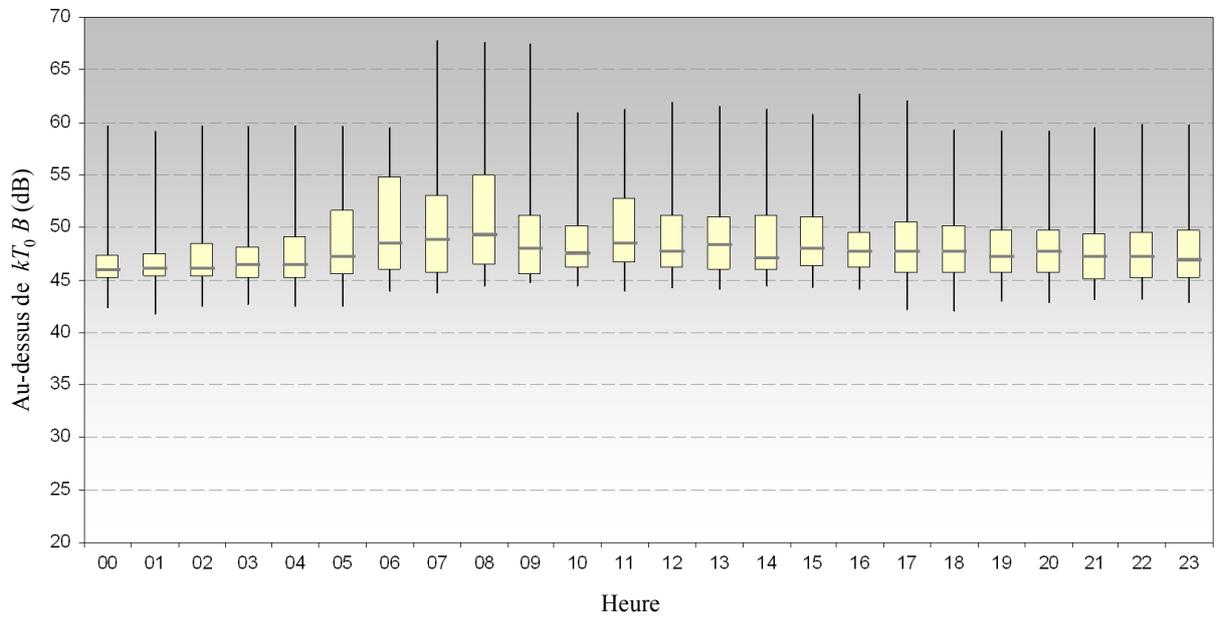
Bruit blanc gaussien en zone urbaine à 5 MHz (diagramme en boîtes)



Report SM.2155-20

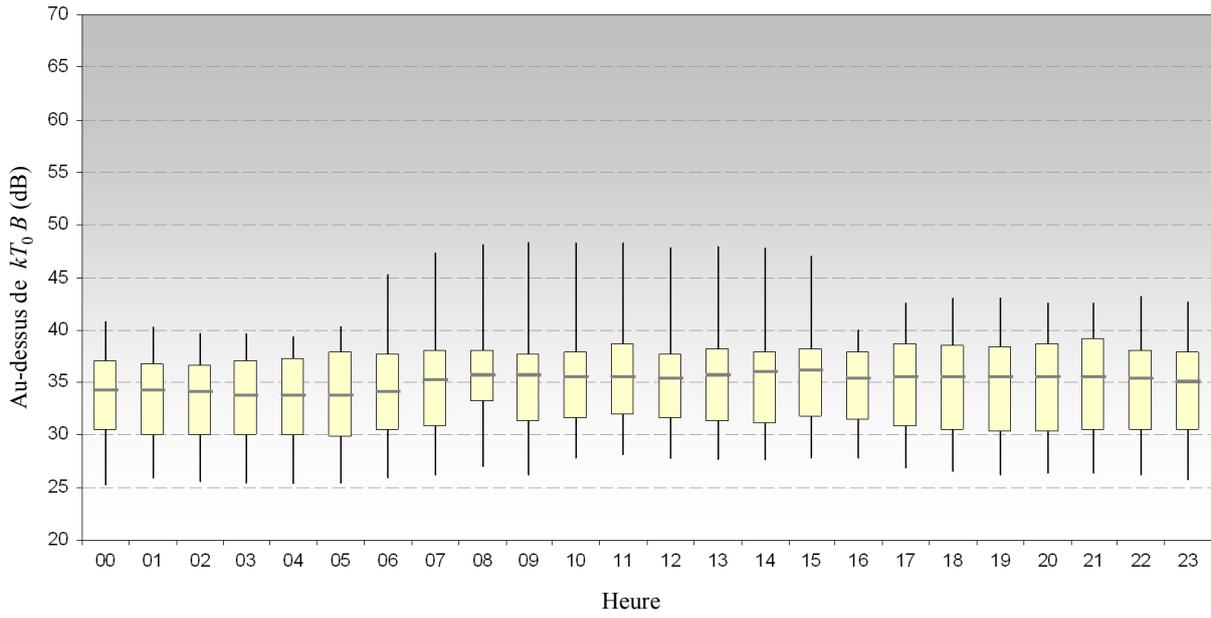
FIGURE 21

Bruit blanc gaussien en zone urbaine à 12 MHz (diagramme en boîtes)



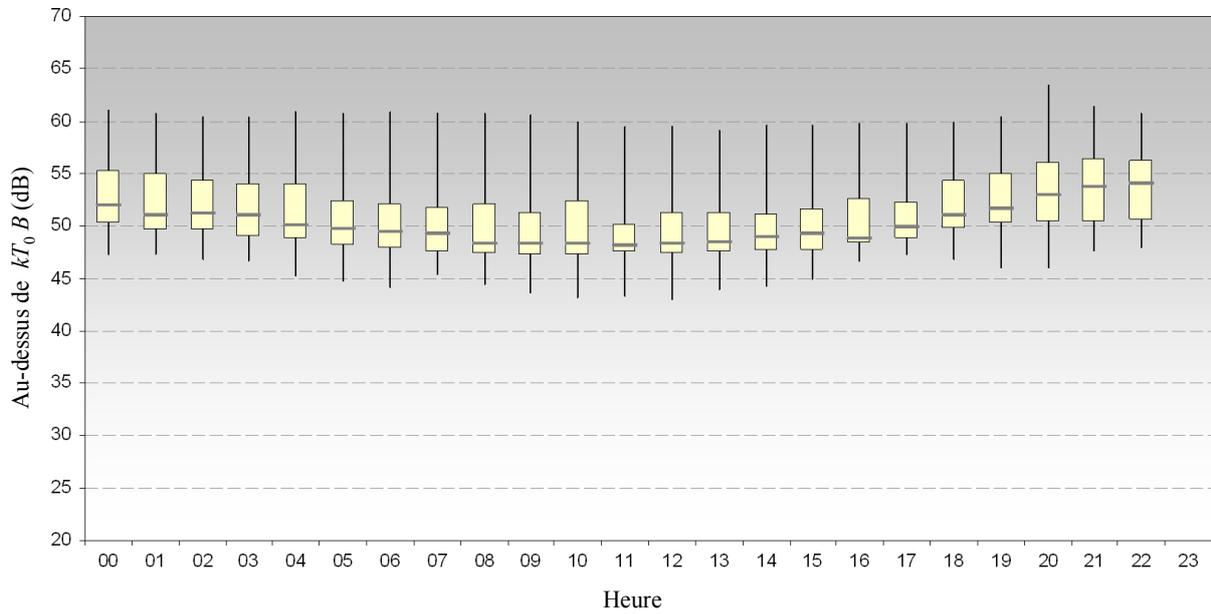
Report SM.2155-21

FIGURE 22
Bruit blanc gaussien en zone urbaine à 20 MHz (diagramme en boîtes)



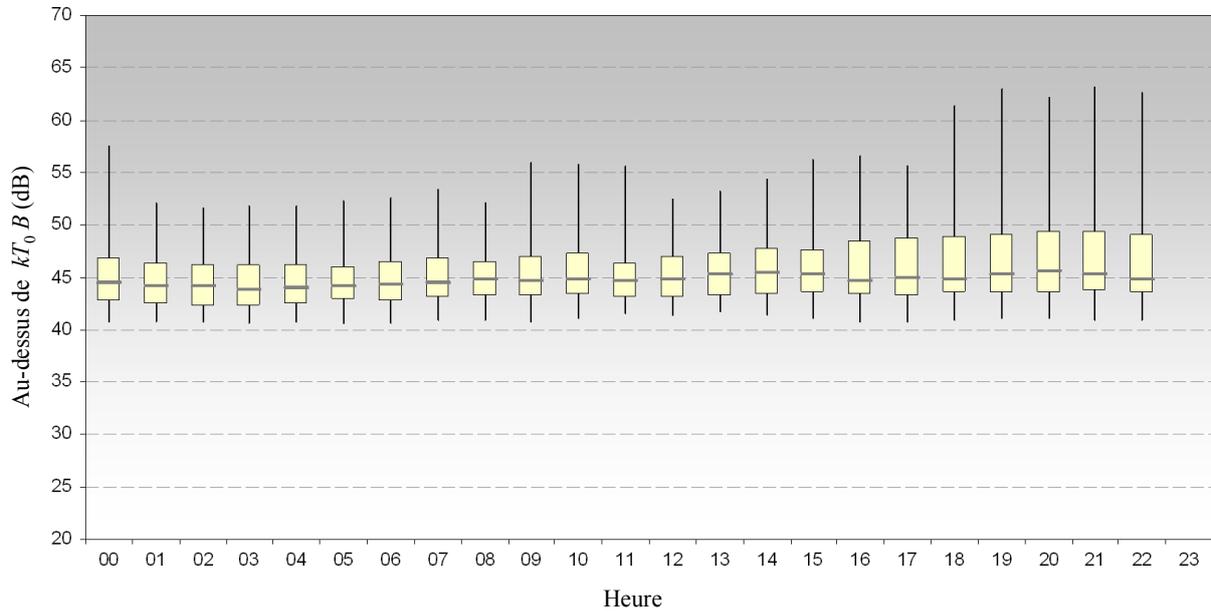
Report SM.2155-22

FIGURE 23
Bruit blanc gaussien en zone résidentielle à 5 MHz (diagramme en boîtes)



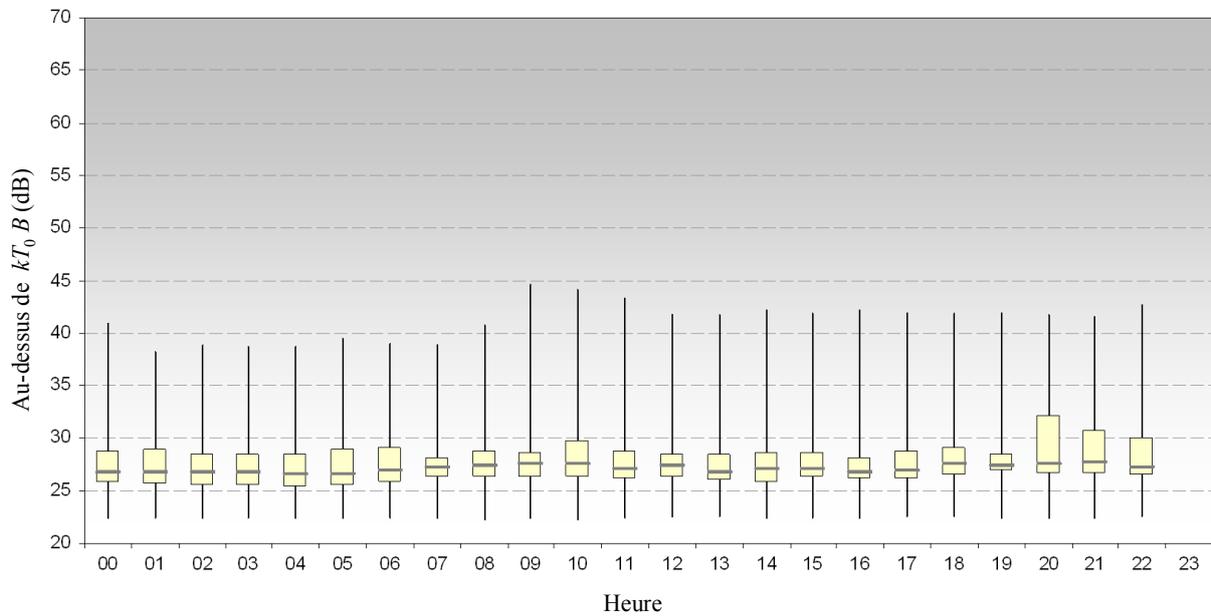
Report SM.2155-23

FIGURE 24
Bruit blanc gaussien en zone résidentielle à 12 MHz (diagramme en boîtes)



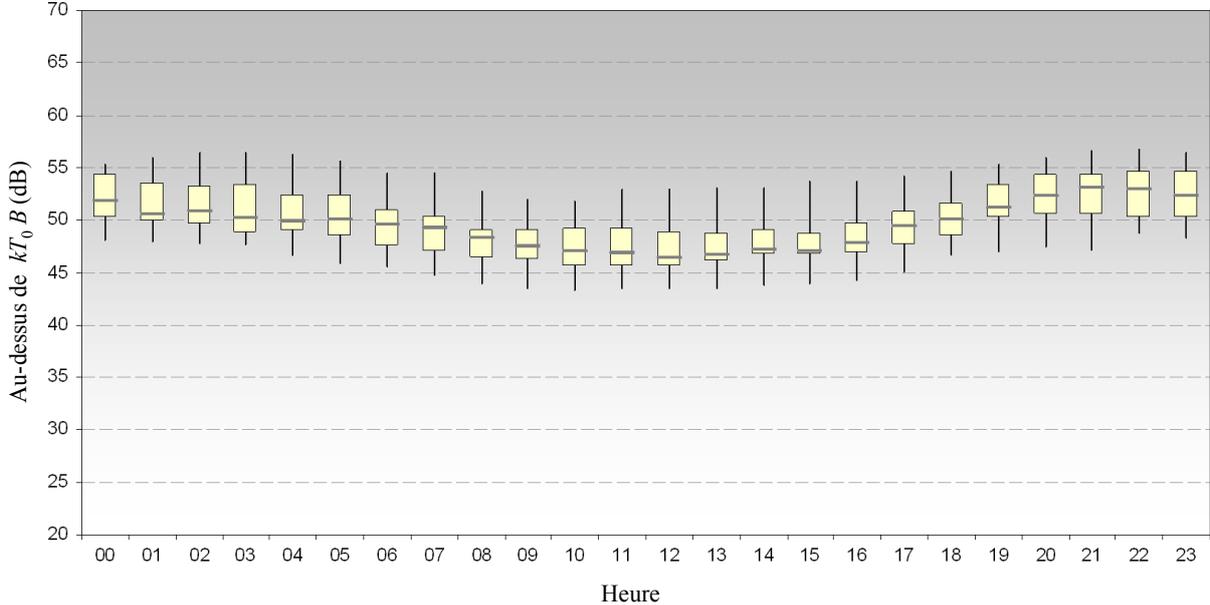
Rapport SM.2155-24

FIGURE 25
Bruit blanc gaussien en zone résidentielle à 20 MHz (diagramme en boîtes)



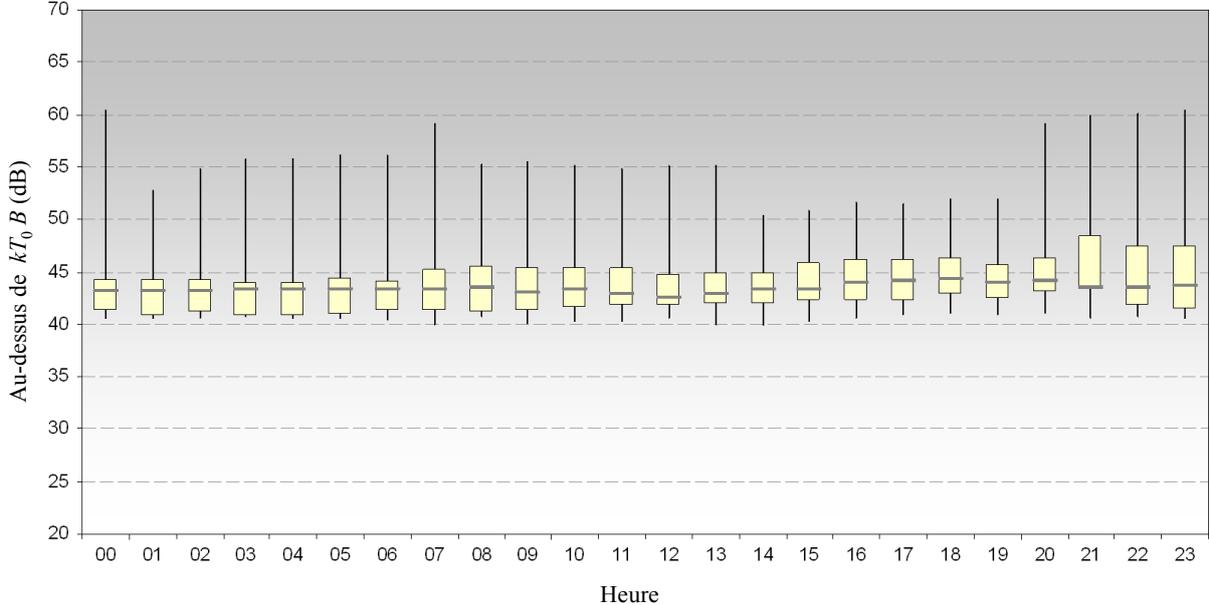
Report SM.2155-25

FIGURE 26
Bruit blanc gaussien en zone rurale à 5 MHz (diagramme en boîtes)



Rapport SM.2155-26

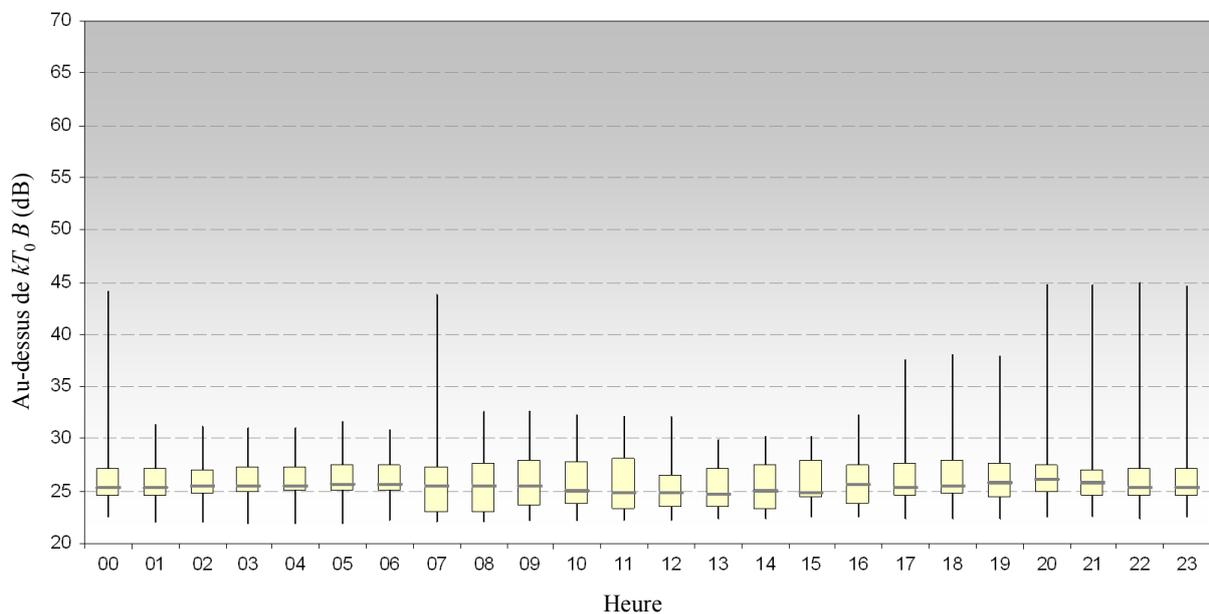
FIGURE 27
Bruit blanc gaussien en zone rurale à 12 MHz (diagramme en boîtes)



Rapport SM.2155-27

FIGURE 28

Bruit blanc gaussien en zone rurale à 20 MHz (diagramme en boîtes)



Rapport SM.2155-28

Il ressort de l'évaluation des mesures que les valeurs de bruit blanc gaussien sont pour la plupart inférieures aux valeurs figurant actuellement dans la Recommandation UIT-R P.372. Le Tableau 4 compare les valeurs médianes sur toute une journée et tous les résultats de mesure déjà obtenus en Allemagne avec les valeurs indiquées dans la Recommandation UIT-R P.372.

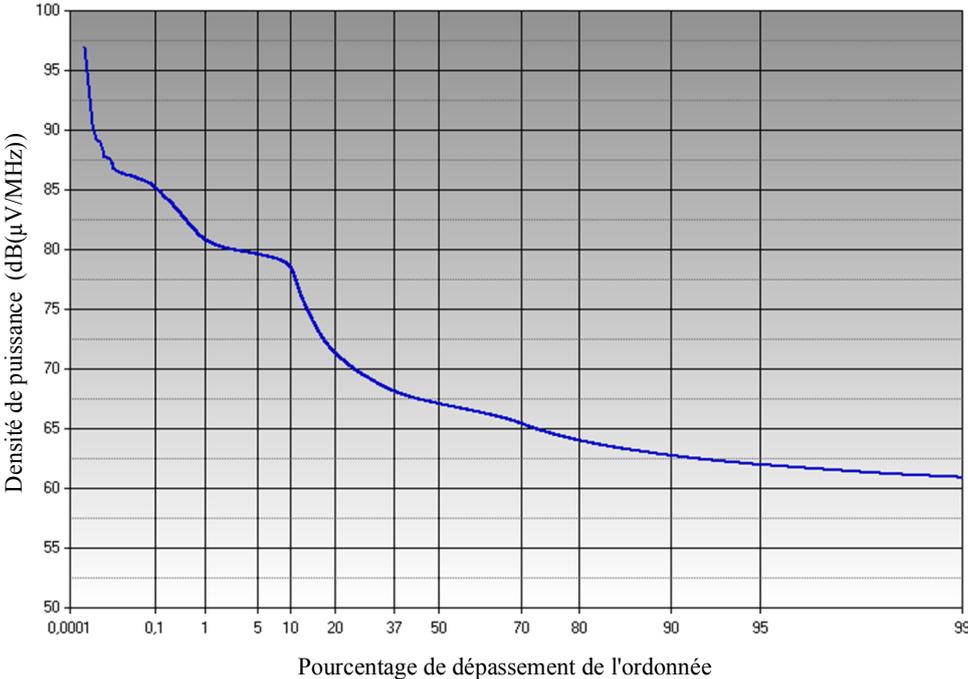
TABLEAU 4

**Comparaison des résultats de mesure du bruit blanc gaussien obtenus en
Allemagne avec la Recommandation UIT-R P.372**

Fréquence (MHz)	Zone urbaine		Zone résidentielle		Zone rurale	
	P.372	Résultats de mesure Allemagne (max/méd/min)	P.372	Résultats de mesure Allemagne (max/méd/min)	P.372	Résultats de mesure Allemagne (max/méd/min)
5	56,5 dB	59,6 / 53,6 / 49,6 dB	52,2 dB	60,5 / 49,9 / 45,7 dB	46,9 dB	54,3 / 49,5 / 45,8 dB
12	46,1 dB	59,5 / 47,2 / 43,2 dB	41,8 dB	52,8 / 44,7 / 41,0 dB	36,5 dB	55,2 / 43,4 / 41,0 dB
20	40,5 dB	40,2 / 35,2 / 26,3 dB	36,2 dB	40,8 / 27,1 / 22,5 dB	30,9 dB	31,3 / 25,3 / 22,6 dB

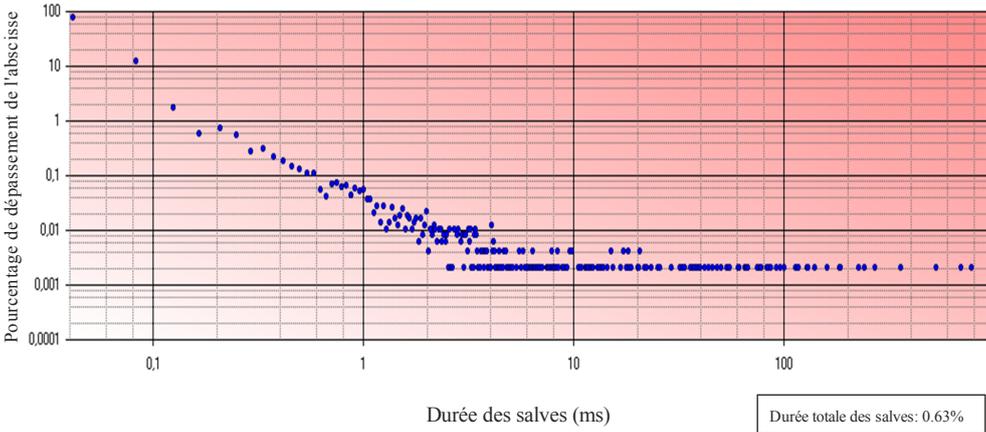
Les figures qui suivent donnent quelques exemples d'évaluation du bruit impulsionnel.

FIGURE 29
Distribution type du niveau du bruit impulsif



Rapport SM.2155-29

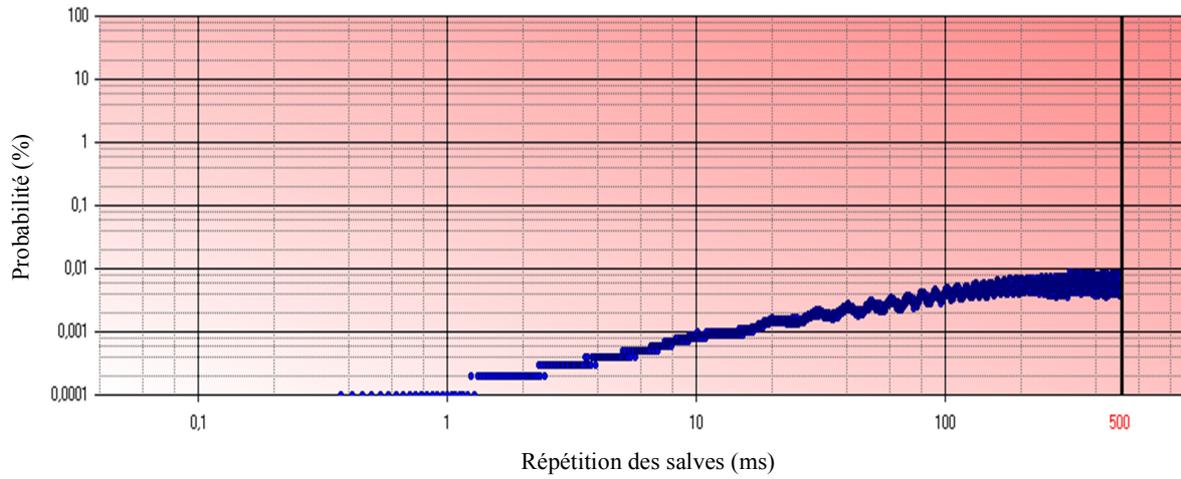
FIGURE 30
Distribution type de la longueur des impulsions du bruit impulsif



Rapport SM.2155-30

FIGURE 31

Distribution type de la répétition des impulsions du bruit impulsionnel



Rapport SM.2155-31

L'Allemagne prévoit de continuer sa campagne de mesure du bruit artificiel pendant plusieurs années. Les résultats de mesure du bruit blanc gaussien seront communiqués au fur et à mesure à l'UIT pour alimenter sa banque de données relative au bruit radioélectrique.
