

RECOMMANDATION UIT-R SM.443-3

Mesure de la largeur de bande dans les stations de contrôle des émissions

(Question UIT-R 26/1)

(1966-1978-1995-2005)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les stations de contrôle doivent mesurer la largeur de bande des émissions afin d'encourager une utilisation efficace du spectre des fréquences radioélectriques;
- b) que les mesures de la largeur de bande faites dans les stations de contrôle doivent être uniformes, faciles à réaliser et fiables afin de pouvoir comparer les résultats obtenus avec différentes stations de contrôle;
- c) les définitions des différentes largeurs de bande données dans le Règlement des radiocommunications (RR) et dans la Recommandation UIT-R SM.328, notamment les définitions de la largeur de bande occupée et de la largeur de bande à x dB;
- d) l'existence d'un nombre croissant d'équipements permettant de mesurer directement la largeur de bande occupée, notamment les équipements utilisant les techniques de traitement du signal numérique et de la transformée de Fourier rapide (TFR);
- e) le Chapitre 4.5 sur la mesure de la largeur de bande du Manuel de l'UIT-R – Contrôle du spectre, (édition de 2002),

recommande

- 1 d'utiliser, dans les stations de contrôle des émissions, la «méthode à $\beta\%$ » directe décrite dans l'Annexe 1 pour mesurer la largeur de bande occupée;
- 2 d'utiliser, dans les stations de contrôle des émissions, la méthode à « x dB» décrite dans l'Annexe 2 pour mesurer la largeur de bande à x dB;
- 3 d'estimer la largeur de bande occupée à partir de la largeur de bande à x dB en procédant comme indiqué dans l'Annexe 3 lorsque les conditions pour une mesure exacte de la largeur de bande occupée ne sont pas remplies ou lorsqu'on ne dispose pas d'équipements pouvant effectuer des mesures à $\beta\%$.

Annexe 1**Méthode de mesure de la largeur de bande occupée («méthode à $\beta\%$ »)****1 Introduction**

Le numéro 1.153 du RR et la Recommandation UIT-R SM.328 définissent la largeur de bande occupée comme suit:

«Largeur de bande occupée: Largeur de la bande de fréquence telle que, au-dessous de sa fréquence limite inférieure et au-dessus de sa fréquence limite supérieure, soient émises des puissances moyennes égales chacune à un pourcentage donné $\beta/2$ de la puissance moyenne totale d'une émission.

En l'absence de spécifications dans une Recommandation de l'UIT-R pour la classe d'émission considérée, la valeur de $\beta/2$ doit être prise égale à 0,5%».

Conformément au § 2 de la Recommandation UIT-R SM.328, l'émission est considérée comme optimale du point de vue de l'utilisation efficace du spectre lorsque sa largeur de bande occupée est égale à la largeur de bande nécessaire pour sa classe d'émission, telle qu'elle est donnée dans la Recommandation UIT-R SM.1138 qui est incorporée par référence dans le RR.

Conformément à la définition indiquée ci-dessus, la largeur de bande occupée peut être mesurée à l'aide d'un analyseur de spectre numérique à balayage ou d'un récepteur de contrôle numérique permettant de stocker les courbes enregistrées en mémoire en vue d'un traitement graphique ultérieur ou à l'aide d'analyseurs utilisant la TFR.

2 Conditions générales pour les mesures de la largeur de bande

Les conditions générales pour les mesures de la largeur de bande sont les suivantes:

- La ligne de visibilité directe entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception, compte tenu du phénomène des courbes de Fresnel, ne doit pas être occultée afin d'obtenir une discrimination élevée des sources d'émission.
- Il convient d'utiliser une antenne directive présentant une directivité et un rapport avant/arrière élevés afin de réduire au strict minimum l'incidence des effets des évanouissements dus à la propagation par trajets multiples.
- On peut utiliser n'importe quel analyseur de spectre ou récepteur de contrôle numérique approprié.
- Il ne doit pas y avoir de brouillage impulsionnel (par exemple, des brouillages provoqués par l'allumage d'équipements).

3 Procédure de mesure

L'analyseur de spectre ou le récepteur de contrôle numérique est réglé comme suit:

- Fréquence: fréquence centrale estimée de l'émission.
- Plage de fréquences: 1,5 à 2 fois la largeur de bande estimée de l'émission.
- Largeur de bande de résolution: moins de 3% de la plage de fréquences.
- Largeur de bande vidéo: 3 fois la largeur de bande de résolution ou plus.
- Niveau/affaiblissement: réglé de façon que le rapport S/N soit supérieur à 30 dB.
- Détecteur: valeurs crête ou échantillon.
- Temps de balayage ou temps d'acquisition: auto (pour des émissions d'impulsions suffisamment longues de façon à pouvoir enregistrer une impulsion pour chaque pixel sur l'écran).
- Courbe: MaxHold (pour la modulation analogique), ClearWrite (pour la modulation numérique).

Dans la plupart des systèmes numériques, la largeur de bande occupée ne varie pas avec le temps car, en règle générale, un train de données est transmis avec un débit de symboles constant. Dans ces cas, la valeur momentanée de la largeur de bande calculée sera relativement constante pour chaque courbe enregistrée. Pour lisser les résultats des différentes mesures ultérieures, on peut choisir un temps de balayage plus long, ce qui facilitera la lecture du résultat.

Dans les systèmes analogiques, en particulier lorsque les signaux transmis sont des signaux audio (F3E, A3E, J3E), la valeur momentanée de la largeur de bande occupée varie rapidement avec la modulation. Dans ces cas, le seul paramètre intéressant pour les stations de contrôle des émissions est la largeur de bande maximale occupée pendant un certain temps d'observation (par exemple une heure). Pour obtenir ce résultat, il faut utiliser la fonction «MaxHold» (gel sur la valeur maximale).

Une fois la courbe enregistrée, le spectre affiché est analysé mathématiquement et la largeur de bande occupée est calculée comme suit:

On fait la somme de la puissance spectrale (ou niveau spectral) associée à chaque raie spectrale de la courbe enregistrée sur l'ensemble de la plage de fréquences pour obtenir la puissance de référence à 100%. Dans un second calcul, en partant de la fréquence enregistrée la plus basse, on fait de nouveau la somme de la puissance spectrale associée à chaque raie jusqu'à ce que cette somme atteigne 0,5% de la puissance totale prédéterminée. On insère une marque en ce point. On effectue ensuite le même calcul en partant de la fréquence enregistrée la plus élevée (bord droit de l'écran) jusqu'à ce que la somme atteigne, là aussi, 0,5% de la puissance totale et on insère une seconde marque. La largeur de bande occupée est la différence de fréquence mesurée entre ces deux marques.

4 Conditions de mesure et précision des mesures

La précision relative dépend des éléments suivants:

– *La forme du spectre du signal*

La précision est d'autant plus grande que l'intensité du signal augmente ou chute brusquement vers les bords du canal utilisé.

– *La largeur de bande de résolution*

La précision est d'autant plus grande que la largeur de bande de résolution est petite, car le calcul de la largeur de bande est basé sur la forme graphique de la course affichée qui est toujours élargie par le filtre de mesure.

– *La plage de fréquences*

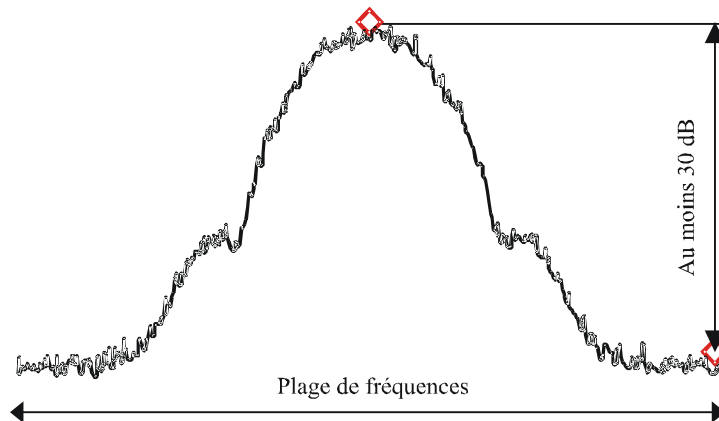
Si la plage de fréquences est trop grande, le processus de calcul intégrera de plus en plus de bruit, ce qui affectera la précision du calcul. Toutefois, cette plage doit être suffisamment grande pour inclure au moins certaines composantes spectrales au-dessous des points à 0,5% (ou à -26 dB).

– *Le niveau de bruit et le niveau de brouillage*

Etant donné que le processus de calcul intègre le bruit et le brouillage en dehors du canal utilisé, la précision est d'autant meilleure que la différence entre le signal utile et le signal brouilleur est importante. Par conséquent, une valeur de 30 dB est recommandée pour le rapport de puissance dans le canal adjacent minimum ou pour la différence minimale entre le niveau de crête et le niveau des fréquences extrêmes pour que l'erreur de mesure soit inférieure à 10% (voir la Fig. 1 et la Fig. 2).

FIGURE 1

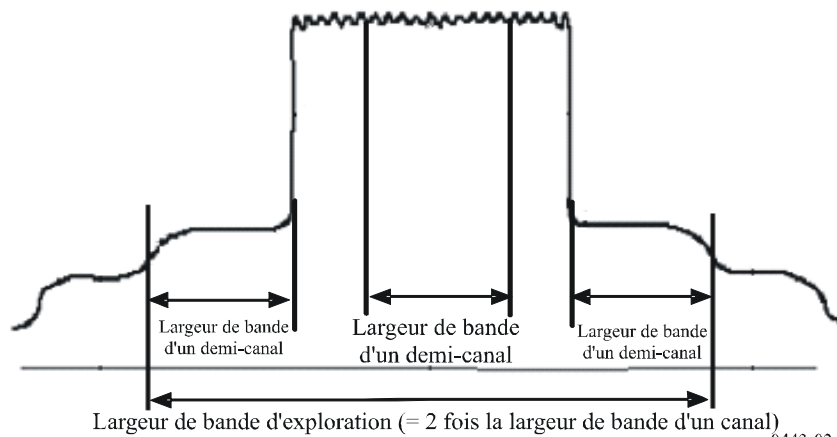
Différence entre le niveau de crête et le niveau des fréquences extrêmes



0443-01

FIGURE 2

Rapport de puissance dans le canal adjacent en utilisant la largeur de bande d'un demi-canal



0443-02

– *Essais de mesure*

La fluctuation du signal numérique liée à la variation du signal de modulation peut introduire une incertitude quant au résultat de la mesure. Il est donc recommandé de répéter les mesures au moins 400 fois pour obtenir la valeur moyenne de la largeur de bande occupée.

La présence d'un signal brouilleur à l'intérieur de la plage de mesure est à proscrire car ce signal serait traité comme une partie du signal utile, ce qui pourrait introduire une erreur importante dans la mesure.

Annexe 2

Méthode de mesure de la largeur de bande à « x -dB» («méthode à x -»)

1 Introduction

La «largeur de bande à x dB (Recommandation UIT-R SM.328 (§ 1.14)) est définie comme étant la largeur d'une bande de fréquences à l'extérieur de laquelle toute composante spectrale d'un spectre discret ou toute densité spectrale de puissance d'un spectre continu est inférieure d'au moins une valeur donnée x dB par rapport à un niveau de référence 0 dB prédéterminé.

Dans les cas où l'on a absolument besoin de cette valeur, par exemple pour déterminer la limite du domaine des émissions hors bande d'un radar, la largeur de bande à x dB peut être mesurée à l'aide de n'importe quel analyseur de spectre ou récepteur de contrôle numérique.

Par ailleurs, conformément au point 2 de la Recommandation UIT-R SM.328, une émission est considérée comme optimale du point de l'utilisation efficace du spectre lorsque sa largeur de bande occupée est égale à la largeur de bande nécessaire pour sa classe d'émission donnée dans la Recommandation UIT-R SM.1138 qui est incorporée par référence dans le RR.

2 Procédure de mesure

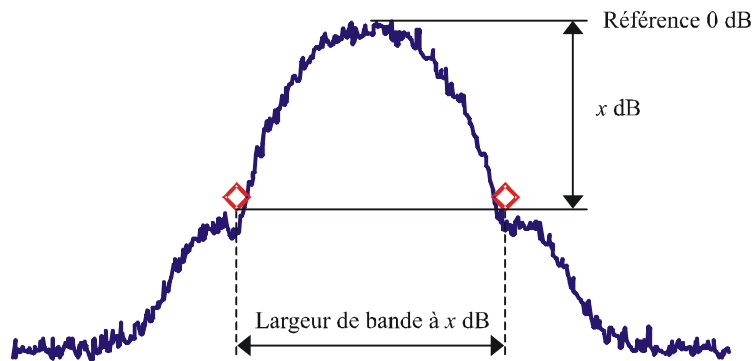
Tout d'abord, le niveau de référence 0 dB doit être déterminé. Ce niveau correspond habituellement au niveau le plus élevé de la raie spectrale lorsque le spectre affiché correspond à une largeur de bande de résolution étroite. Dans l'hypothèse où, pendant la durée de l'enregistrement, la puissance de l'émetteur est au moins une fois celle de la porteuse, ce niveau est égal à la puissance totale émise. Toutefois, avec des signaux à modulation numérique, cette hypothèse est impossible. Le niveau de référence 0 dB correspond toujours au niveau le plus élevé de la raie spectrale, mais il n'est pas égal à la puissance totale émise et c'est la raison pour laquelle les valeurs de x pour obtenir des résultats comparables sont différentes selon qu'il s'agit d'émissions analogiques ou d'émissions numériques.

L'analyseur de spectre/le récepteur numérique devraient être réglés comme suit:

- Fréquence centrale: f_0 (fréquence porteuse ou fréquence centrale estimée de l'émission).
- Plage de fréquences: 1,5 fois la largeur de bande estimée de l'émission.
- Largeur de bande de résolution: moins de 3% de la plage de fréquences.
- Largeur de bande vidéo: 3 fois la largeur de bande de résolution ou plus.
- Détecteur: détecteur de valeurs crêtes.
- Courbe: MaxHold.

Une fois la courbe tracée, on recherche le niveau de crête. La valeur de la largeur de bande à x dB, lue sur l'écran de l'équipement, correspond à la largeur d'une bande de fréquences à l'extérieur de laquelle toute composante spectrale d'un spectre discret ou toute densité spectrale de puissance d'un spectre continu est inférieure d'au moins une valeur « x dB» par rapport à un niveau de référence 0 dB prédéterminé. Si plus de deux raies spectrales ont ce niveau, on prend les fréquences extrêmes. La différence de fréquence entre les deux marques est la largeur de bande à x dB.

FIGURE 3

Largeur de bande à x dB

0443-03

3 Conditions de mesure et précision des mesures

La précision de la méthode à « x -dB» dépend des éléments suivants:

– *La forme du spectre du signal*

La précision est d'autant meilleure que l'intensité du signal augmente ou chute très brusquement vers les bords du canal utilisé.

– *La largeur de bande de résolution*

La précision est d'autant meilleure que la largeur de bande de résolution est petite car la forme affichée du signal est toujours élargie par le filtre de mesure.

– *La plage de fréquences*

Si la plage de fréquences est trop large, le nombre de raies affichées moins important ne permet pas de représenter le signal et de positionner les marques. L'incertitude de mesure est d'autant plus grande que la résolution est faible.

– *Le niveau de bruit et le niveau de brouillage*

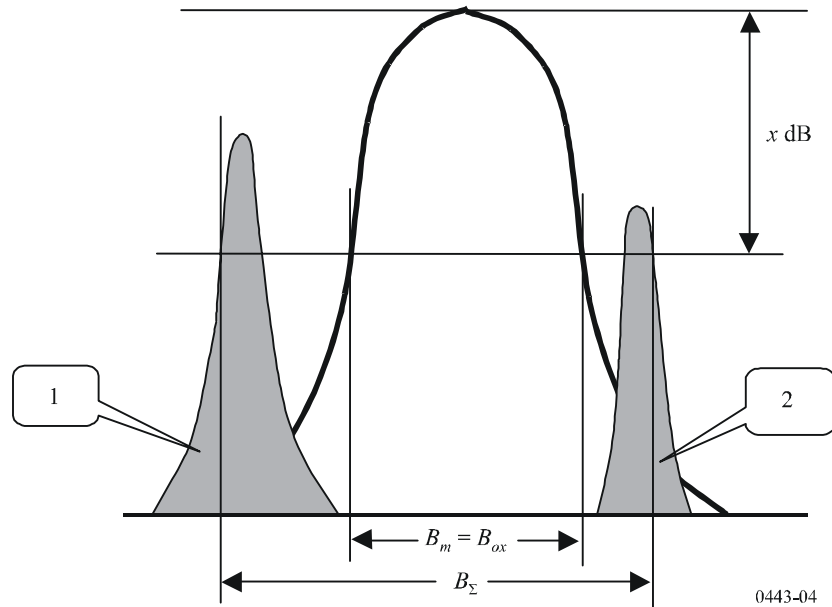
Le rapport S/N doit être suffisant conformément à l'émission analysée. Une valeur minimale de $x + 5$ dB est recommandée pour que l'erreur de mesure soit inférieure à 10%. Lorsque la dynamique du signal n'est pas suffisante au niveau de la station de contrôle, le mieux est de faire la mesure avec une station mobile qui peut être située à proximité de l'émetteur.

Des signaux brouilleurs peuvent être tolérés à l'intérieur de la plage de fréquences affichée; ils n'auront pas d'incidence sur le résultat d'une mesure manuelle de la valeur « x dB» si la largeur de bande à x dB est étroite par rapport à la largeur de bande du signal utile et si la fréquence brouilleuse ne tombe pas sur l'un des points à x dB.

4 Mesure de la largeur de bande à x dB lorsque le brouillage a une influence sur la mesure

Dans certains cas, les valeurs de la largeur de bande à x dB peuvent être mesurées ou au moins estimées en présence de signaux brouilleurs dont les niveaux sont supérieurs aux niveaux mesurés à x dB. Comme indiqué à la Fig. 4, dans le cas où les limites de la largeur de bande à x dB par rapport à chaque bord du spectre d'une émission considérée ne sont pas masquées par des signaux brouilleurs (spectres 1 et 2), la largeur de bande de ce spectre particulier est mesurée sans tenir compte des spectres des signaux brouilleurs. En d'autres termes, dans le cas illustré à la Fig. 4, la largeur de bande à x dB, B_{ox} , est égale à B_m et non à B_Σ .

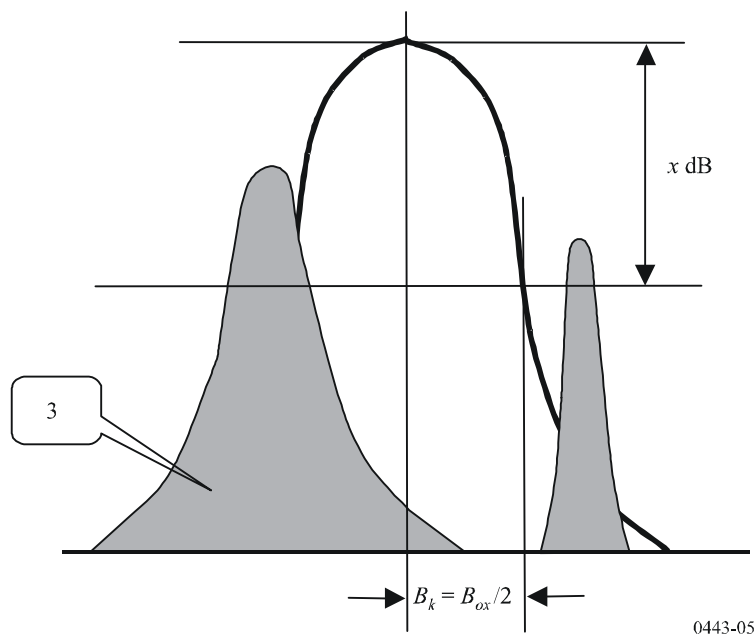
FIGURE 4
Mesure de la largeur de bande en présence de signaux brouilleurs



Lorsqu'on ne sait pas si les spectres 1 et 2 concernent des signaux brouilleurs, on peut identifier les émetteurs brouilleurs à l'aide d'un corrélogramme à deux canaux, indiquant une valeur faible pour le coefficient de corrélation entre le signal correspondant au spectre de l'émission considérée et le signal du brouilleur potentiel (§ 4.9.5.1 du Manuel de l'UIT-R – Contrôle du spectre (édition de 2002)).

Même lorsqu'une limite de la largeur de bande à x dB est masquée par un spectre brouilleur comme illustré à la Fig. 5 (spectre 3), si le spectre du signal utile est symétrique, ce qui est le plus souvent le cas, l'estimation de la valeur de la largeur de bande peut se faire à partir d'une demi-largeur de spectre, c'est-à-dire $B_{ox} = 2 B_k$.

FIGURE 5
Mesure de la largeur de bande à partir d'une demi-largeur de spectre



Il est normal que les mesures effectuées en présence de signaux brouilleurs soient entachées d'erreurs plus importantes que les mesures faites en l'absence de brouillage. Toutefois, les estimations obtenues dans certains cas conviennent tout à fait pour des applications pratiques.

Annexe 3

Estimation de la largeur de bande occupée à l'aide de la méthode « x -dB»

1 Introduction

Dans les situations suivantes, il n'est pas possible d'utiliser la méthode à $\beta\%$ pour mesurer directement la largeur de bande occupée:

- brouillage dans la bande à des niveaux supérieurs au niveau du signal utile;
- absence d'équipements appropriés pouvant utiliser la méthode à $\beta\%$.

Dans ces cas, on peut utiliser la méthode « x -dB» décrite dans l'Annexe 2 pour faire une estimation de la largeur de bande occupée.

Pour calculer la largeur de bande occupée à l'aide de la méthode « x -dB», il faut choisir avec soin les valeurs du niveau de référence 0 dB et de x .

En règle générale, il existe deux méthodes différentes pour comparer la largeur de bande mesurée et la largeur de bande nécessaire ou occupée:

- mesurer systématiquement la largeur de bande à -26 dB et appliquer un facteur de conversion;
- mesurer le signal pour des valeurs précises de x dB qui sont différentes pour chaque classe d'émission.

2 Estimation de la largeur de bande occupée à partir de la largeur de bande à -26 dB

Avec cette méthode, la largeur de bande est toujours mesurée aux points à -26 dB, selon la méthode décrite dans l'Annexe 2. Il convient d'utiliser les facteurs de conversion entre la largeur de bande à 26 dB, B_{26} , et la largeur de bande nécessaire, B_n , indiqués dans le Tableau 1 pour estimer la largeur de bande occupée ou nécessaire.

TABLEAU 1

Classe d'émission	Relation entre la largeur de bande B_{26} et B_n
A1A, A1B, A2A, A2B	$B_{26} = 0,9 B_n$
F1B	$B_{26} = B_n$
F3C	$B_{26} = B_n$
F7BDX	$B_{26} = 0,9 B_n$

3 Estimation directe de la largeur de bande occupée à partir de mesures de la largeur de bande à x dB

La largeur de bande est mesurée à l'aide de la méthode à « x -dB» décrite dans l'Annexe 2.

Le niveau de référence 0 dB est toujours fixé au niveau de crête de la courbe résultante. Les valeurs de x sont celles indiquées dans le Tableau 2, selon la modulation du signal.

TABLEAU 2

Classe d'émission	Valeurs de x dB à utiliser pour mesurer la largeur de bande à x dB en vue d'une estimation directe de la largeur de bande occupée
A1A A1B	-30
A2A A2B	-32
A3E	-35
B8E	-26
F1B	-25
F3C	-25
F3E G3E	-26
F7B	-28
H2B	-26
H3E	-26
J2B	-26
J3E	-26
R3E	-26

La valeur résultante de la mesure est l'estimation de la largeur de bande occupée.
