

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R SM.1268-4
(11/2017)

Méthode à utiliser par les stations de contrôle des émissions pour mesurer l'excursion maximale de fréquence des émissions de radiodiffusion MF

Série SM
Gestion du spectre



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 Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/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	Service fixe 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
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2018

© UIT 2018

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.

RECOMMANDATION UIT-R SM.1268-4

**Méthode à utiliser par les stations de contrôle des émissions
pour mesurer l'excursion maximale de fréquence
des émissions de radiodiffusion MF**

(1997-1999-2011-2014-2017)

Domaine d'application

La présente Recommandation décrit des méthodes permettant de mesurer l'excursion de fréquence et la puissance de multiplexage des stations de radiodiffusion MF pendant le fonctionnement normal des programmes et de vérifier la conformité aux conditions prises pour hypothèse selon les procédures de planification des réseaux de radiodiffusion.

Mots clés

Contrôle, excursion de fréquence, mesure, puissance de modulation, radiodiffusion MF

Recommandations et Rapports UIT connexes

Recommandation UIT-R BS.412

NOTE – Dans tous les cas, il convient d'utiliser l'édition la plus récente de la Recommandation/du Rapport en vigueur.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a)* que les paramètres de planification des réseaux de radiodiffusion MF sont donnés dans la Recommandation UIT-R BS.412;
- b)* que les rapports de protection utilisés pour la planification des fréquences d'émission en radiodiffusion sont établis pour une excursion maximale de fréquence de ± 75 kHz (ou de ± 50 kHz) et pour une puissance maximale du signal de modulation qui ne doit pas être supérieure à celle d'un signal sinusoïdal provoquant une excursion de fréquence de ± 19 kHz;
- c)* que certaines émissions de radiodiffusion dépassent l'excursion maximale de fréquence et/ou la puissance de modulation autorisée en raison de certains types de programmes, lorsqu'on ajoute des composantes au signal composite (signaux RDS (radio data system) par exemple) et du fait de la compression audio;
- d)* que la protection mutuelle assurée dans le cadre de la planification de la radiodiffusion et du service de radionavigation aéronautique dans la bande de fréquences supérieure à 108 MHz imposent une limitation de l'excursion crête de fréquence et de la puissance de modulation;
- e)* que le contrôle des émissions de radiodiffusion est nécessaire pour empêcher que dans les émissions, l'excursion maximale de fréquence et la puissance maximale de modulation autorisées ne soient dépassées;
- f)* que des procédures de mesure communes sont nécessaires pour que les parties concernées (gestionnaires de fréquences, services de contrôle des émissions et radiodiffuseurs) acceptent réciproquement les résultats des mesures;

g) que le nombre de stations de radiodiffusion utilisant des signaux additionnels tels que le RDS et des signaux de données à haut débit augmente et que ces systèmes sont très sensibles aux brouillages par les canaux adjacents,

reconnaissant

a) que la méthode décrite dans l'Annexe 1 est un simple test «oui-non» utilisant un gabarit spectral et que cette méthode ne peut pas se substituer des mesures précises de l'excursion de fréquence;

b) que la méthode décrite dans l'Annexe 1 ne peut pas être appliquée aux émissions présentant une excursion crête de 50 kHz car on ne dispose pas actuellement de gabarit spectral approprié;

c) que la méthode décrite dans l'Annexe 2 est aussi applicable aux émissions présentant une excursion crête de 50 kHz,

recommande

1 d'utiliser la méthode décrite dans l'Annexe 1 pour vérifier si l'excursion de fréquence d'une station de radiodiffusion MF dépasse les limites autorisées;

2 d'utiliser la méthode décrite dans l'Annexe 2 lorsque les valeurs de l'excursion et de la puissance de modulation doivent être fournies.

Annexe 1

Méthode utilisant un gabarit spectral simple pour contrôler le dépassement des limites d'excursion de fréquence

1 Conditions à satisfaire

On pourra utiliser pour cette mesure tout analyseur de spectre et tout récepteur de test disposant de fonctions d'analyse.

2 Branchement de l'émetteur et de l'analyseur de spectre

Par une antenne de mesure.

3 Conditions de mesure

- Au cours de 3 mesures de 5 min chacune, l'émetteur à contrôler sera modulé avec des éléments de programme représentatifs des programmes diffusés par cet émetteur. Des mesures complémentaires pourront être effectuées pour s'assurer que les éléments de programme sont réellement représentatifs.
- Il doit y avoir absence totale de brouillage impulsif pendant la mesure (par exemple, des brouillages causés par des systèmes d'allumage).
- Le rapport signal (brouillage + bruit) sera supérieur ou égal à 50 dB.

4 Réglage de l'analyseur de spectre

L'analyseur de spectre sera réglé comme suit:

- fréquence centrale = f_0 (fréquence porteuse de l'émetteur);
- RBW 10 kHz (filtre FI);
- VBW 10 kHz (filtre vidéo);
- fenêtre: 340 kHz;
- durée de balayage: 340 ms (1 ms/kHz);
- mode «gel sur la valeur maximale»;
- affaiblissement à l'entrée: selon le niveau d'entrée.

Les réglages pour les analyseurs dotés d'un processeur numérique de signal (DSP, *digital signal processor*) seront différents mais devront donner des résultats équivalents.

5 Instructions pour les mesures

- a) Enregistrer le signal de l'émetteur pendant 5 min.
- b) Observer l'analyseur et utiliser l'écoute au niveau du récepteur pour savoir si les mesures ne sont pas faussées par un brouillage de type impulsif. Pour la même raison, les mesures doivent être répétées deux fois.
- c) Superposer les mesures graphiques avec le gabarit tel que décrit au § 7.
- d) Le centre de l'axe x du gabarit doit correspondre à la fréquence centrale (f_0).
- e) Régler le niveau de référence afin que l'amplitude maximale de la mesure corresponde à 0 dB.
- f) Déterminer si la mesure se trouve dans les limites du gabarit.

6 Limites

Si un spectre mesuré n'entre pas dans le gabarit, on suppose que l'excursion de l'émetteur n'est pas conforme.

7 Elaboration du gabarit

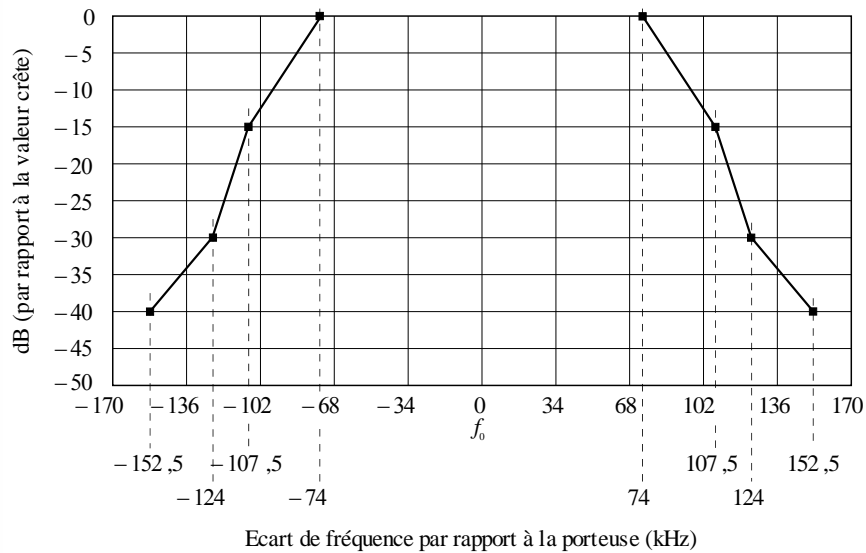
- a) L'étalonnage du gabarit doit être conforme aux réglages de l'analyseur.
- b) Le centre de l'axe x est aligné sur f_0 .
- c) Le sommet de l'axe des y correspond au niveau de référence 0 dB.
- d) Les lignes droites relient les coordonnées suivantes:

Axe x (kHz)	Axe y (dB)
$f_0 - 74$	0
$f_0 - 107,5$	-15
$f_0 - 124$	-30
$f_0 - 152,5$	-40

Axe x (kHz)	Axe y (dB)
$f_0 + 74$	0
$f_0 + 107,5$	-15
$f_0 + 124$	-30
$f_0 + 152,5$	-40

La représentation graphique du tableau est donnée à la Fig. 1.

FIGURE 1
Gabarit



SM.1268-01

Annexe 2

Méthode destinée à être utilisée par les stations de contrôle des émissions pour mesurer l'excursion maximale de fréquence de signaux de radiodiffusion MF émis

1 Généralités

1.1 Définitions

Excursion de fréquence:

En modulation de fréquence, excursion par rapport à la fréquence f_0 de la porteuse non modulée.

Excursion instantanée:

En modulation de fréquence, l'excursion instantanée $\Delta f(t)$ est la différence entre la fréquence instantanée à un instant donné (t) et la fréquence porteuse non modulée (f_0). La fréquence instantanée est:

$$f(t) = f_0 + \Delta f(t)$$

Excursion crête:

En modulation de fréquence, l'excursion crête ΔF est la valeur absolue du maximum de la différence entre la fréquence porteuse non modulée (f_0) et la fréquence instantanée $f(t)$.

Signal composite:

Le signal composite contient toutes les informations stéréophoniques (tonalité pilote comprise) et peut inclure d'autres signaux: informations sur le trafic, RDS, etc.

Puissance de modulation (également appelée puissance de multiplexage):

La puissance de modulation P_{mod} est la puissance relative moyennée sur 60 s du signal de modulation conformément à la formule:

$$\text{puissance de modulation} = 10 \log \left\{ (2/60 \text{ s}) \int (\Delta f(t)/19 \text{ kHz})^2 dt \right\} \quad \text{dBr}$$

0 dBr:

Puissance moyenne d'un signal équivalente à la puissance d'un signal sinusoïdal provoquant une excursion crête de ± 19 kHz.

1.2 Introduction

Pour diverses raisons – telle la réduction du temps nécessaire aux mesures – il paraît logique de réaliser les mesures d'excursion de fréquence sur le terrain et non directement à la sortie de l'émetteur. La conformité du signal à mesurer avec les caractéristiques indiquées ci-après est nécessaire, outre la conformité de l'équipement de mesure avec les conditions à satisfaire décrites au § 3 afin d'éviter des incertitudes dans les mesures.

1.3 Limites

Les rapports de protection spécifiés dans la Recommandation UIT-R BS.412 pour la planification des émetteurs de radiodiffusion sonore MF s'appliquent à la condition que l'excursion crête ne dépasse pas ± 75 kHz et que la puissance de modulation moyenne dans tout intervalle de 60 s ne soit pas supérieure à celle d'une modulation sinusoïdale unique provoquant une excursion de ± 19 kHz.

1.4 Durée d'observation

Le temps d'observation doit être au moins de 15 minutes. Dans certains cas, il peut être nécessaire de le porter à 1 heure, voire plus, pour être sûr d'effectuer des mesures sur des éléments de programme qui permettent d'obtenir des valeurs maximales pour l'excursion de fréquence et la puissance de modulation.

2 Conditions requises pour les mesures**2.1 Rapport signal RF utile/parasite requis (E_n/E_s) à l'équipement de mesure**

Ce rapport dépend des caractéristiques de l'équipement utilisé pour les mesures. Pour obtenir la précision requise, définie aux § 3.1 et 3.2, le niveau des émissions brouilleuses doit être inférieur aux valeurs indiquées dans les Tableaux 1 et 2.

Les récepteurs utilisés pour les mesures sont généralement équipés de filtres gaussiens ou de filtres de canaux. Dans la pratique, les filtres gaussiens se prêtent parfois moins bien aux mesures de l'excursion de crête que les filtres de canaux.

a) Récepteurs de mesures dotés de filtres gaussiens en fréquence FI

TABLEAU 1

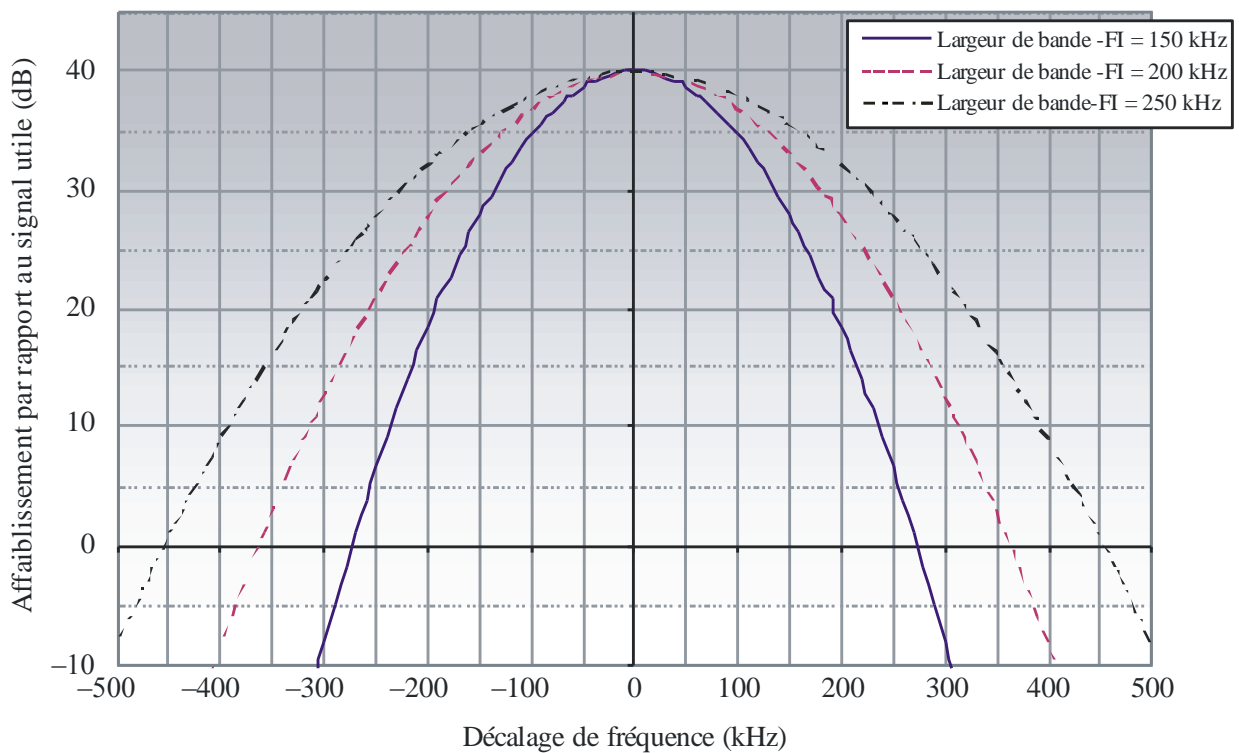
Différence de fréquence $\pm \Delta f$ (kHz)	Rapport de protection requis (dB)
0	40
X	$40 - 20 * \log \left(e^{-\ln \sqrt{2} * \left(\frac{2X}{B} \right)^2} \right)$

Dans le Tableau 1, «B» est la largeur de bande nominale de 3 dB du filtre de mesure (en kHz).

Le diagramme suivant illustre les rapports de protection requis avec trois exemples de largeurs de bande utilisées pour les mesures.

FIGURE 2

Récepteurs de mesures dotés de filtres gaussiens en fréquence FI



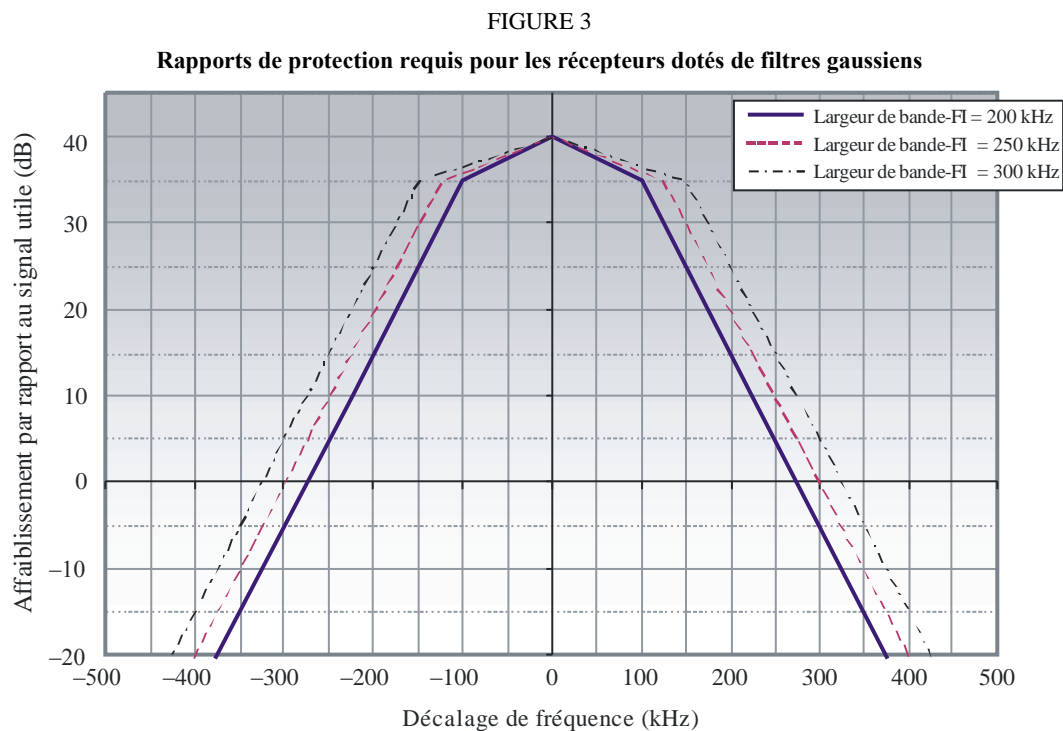
b) Récepteurs de mesures dotés de filtres de canaux

TABLEAU 2

Différence de fréquences $\pm \Delta f$ (kHz)	Rapport de protection requis (dB)
0	40
$B/2$	35
X (for $X > B/2$)	$35 - 0,2*(X - B/2)$

Dans le Tableau 2, « B » est la largeur de bande nominale à 3 dB du filtre de mesure en kHz. On utilise une interpolation linéaire entre les valeurs discrètes.

Le diagramme suivant illustre les rapports de protection requis avec trois exemples de largeurs de bande utilisées pour les mesures.



SM.1268-03

Il est indispensable que les rapports de protection applicables indiqués ci-dessus soient respectés, étant donné qu'une augmentation des niveaux du signal utile, même minime, sera source d'erreurs considérables.

2.2 Propagation par trajets multiples et distorsion

Les signaux retardés provenant de l'émetteur utile et les signaux émis par d'autres émetteurs cocanal ou dans les canaux adjacents doivent être suffisamment faibles pour que les résultats des mesures ne soient pas influencés par les effets de la propagation par trajets multiples. En cas de réception par trajets multiples uniquement, on considère que cette condition est respectée si le produit du retard et du rapport d'amplitude (en pourcentage) est:

$$(U_r/U_d) \cdot \tau < 64\% \cdot \mu\text{s} \quad (1)$$

où:

U_r : amplitude du signal réfléchi

U_d : amplitude du signal direct

τ : retard (μs)

Une manière plus générale de définir la distorsion créée par la réception par trajets multiples et les signaux émis par d'autres émetteurs découle du fait que tous ces éléments entraînent une certaine modulation du signal reçu. Le meilleur moyen de définir cette modulation d'amplitude consiste à utiliser le gradient maximal de la variation de l'amplitude RF en fonction de la fréquence RF et est appelé degré de distorsion. Les valeurs de ce gradient sont facilement mesurables à l'aide d'appareils de mesure de la réflexion. Le gradient maximal admissible correspondant dans le cas d'une réception stéréophonique est:

$$d(U/U_d)/df < 0,4\%/kHz \quad (2)$$

où:

U : amplitude totale du signal reçu

Il est indispensable que les rapports de protection applicables indiqués ci-dessus soient respectés, étant donné qu'une augmentation des niveaux du signal utile, même minime, sera source d'erreurs considérables. Il est possible de réduire l'influence des réflexions en modifiant la hauteur de l'antenne de réception. La hauteur optimale est celle permettant d'obtenir l'intensité de champ maximale.

2.3 Niveau du signal utile à l'entrée du récepteur

Pour que le rapport signal/bruit audiofréquence soit suffisant, le niveau d'entrée du signal utile dans le récepteur doit être d'au moins -47 dB(pW)^1 .

3 Caractéristiques d'un équipement de mesure approprié

Pour pouvoir repérer toutes les crêtes d'excursion en fréquence, l'équipement doit pouvoir détecter l'excursion produite par la composante de fréquence la plus élevée du signal en bande de base ou du signal composite.

C'est pourquoi il faut, si l'on utilise un équipement de mesure numérique, que la fréquence d'échantillonnage soit de 200 kHz ou plus selon la fréquence maximale du signal composite.

3.1 Mesures de la réflexion

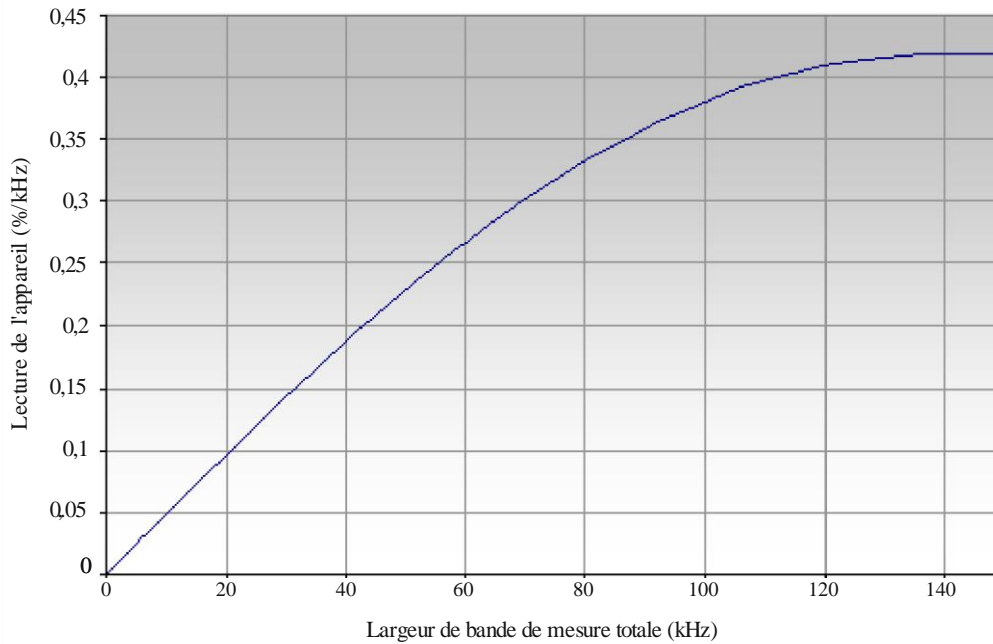
En raison de l'absence de directivité de l'antenne de mesure, il ne sera dans la plupart des cas pas possible de mesurer séparément les valeurs du champ des émissions utiles et brouilleuses et d'utiliser la formule (1) pour calculer le degré de distorsion et la propagation par trajets multiples. Pour mesurer ce paramètre, un moyen plus commode est d'utiliser des appareils de mesure de la réflexion, qui mesurent effectivement la modulation d'amplitude dans le signal reçu et calculent le degré de propagation par trajets multiples au moyen de la formule: (2).

En théorie, l'appareil de mesure de la réflexion doit avoir une largeur de bande de 150 kHz. Toutefois, la plupart des appareils de mesure de la réflexion ont une largeur de bande nettement inférieure. En pareil cas, le degré maximal admissible de propagation par trajets multiples est inférieur à la valeur

¹ Cette valeur correspond à un champ d'environ 68 dB($\mu\text{V/m}$) en utilisant une antenne tel que recommandé dans la Recommandation UIT-R BS.599, Fig. 1, courbe B (12 dB de rapport avant/arrière).

de 0,4%/kHz indiquée au § 2.2. La Fig. 4 indique les valeurs corrigées du degré de distorsion maximal indiqué, en fonction de la largeur de bande de l'appareil de mesure de la réflexion.

FIGURE 4



SM.1268-0 4

3.2 Mesures d'excursion en fréquence

L'équipement de mesure doit pouvoir mesurer des excursions instantanées de 100 kHz ou plus. En outre, l'équipement de mesure doit disposer de certaines caractéristiques qui tiennent compte de la largeur de bande de mesure requise, du facteur de forme du filtre, etc., afin que les non-linéarités et la distorsion ne conduisent pas à une imprécision supérieure à celle spécifiée dans le Tableau 3.

TABLEAU 3

Précision de l'appareil pour la mesure de l'excursion en fréquence

Excursion instantanée (kHz)	Précision requise
≤ 80 kHz	± 2 kHz
> 80 kHz	$\pm 5\%$

3.3 Mesures de la puissance de modulation

La puissance de modulation est spécifiée en dBr conformément au § 1.1. L'équipement de mesure doit pouvoir mesurer les puissances de modulation comprises entre -6 dBr et $+6$ dBr. La précision de l'appareil doit au moins correspondre aux valeurs spécifiées dans le Tableau 4.

TABLEAU 4

Précision de l'appareil pour la mesure de la puissance de modulation

Excursion instantanée (kHz)	Précision requise
< -2	±0,4
-2 à + 2	±0,2
> 2	±0,4

4 Evaluation des résultats

On estime qu'il n'est pas opportun de considérer que l'occurrence d'échantillons isolés présentant une excursion de fréquence instantanée supérieure à 75 kHz enfreint la limite d'excursion, étant donné que:

- a) la modulation dynamique d'un émetteur de radiodiffusion MF avec un contenu de programme normal peut comprendre des crêtes de modulation qui surviennent extrêmement rarement et ne se reproduisent parfois pas lors d'une deuxième mesure;
- b) même lorsque les conditions de mesure indiquées au § 2 sont respectées, on ne peut pas toujours éviter totalement les brouillages externes;

Pour ces raisons, et compte tenu du degré d'incertitude de la mesure avec un niveau de confiance recherché de 95%, on peut considérer qu'un émetteur de radiodiffusion MF ne respecte pas la limite d'excursion si un certain nombre d'échantillons de mesure dépassent $\pm (75 \text{ kHz} + \text{l'incertitude de mesure})$. On peut considérer que $10^{-4}\%$ (c'est-à-dire 10^{-6}) des échantillons de mesure supérieurs à une excursion de 77 kHz (voir le Tableau 3) constitue une valeur utilisable dans la pratique.

Etant donné que la puissance de modulation est calculée en moyenne sur une période de 60 s, les crêtes de courte durée présentes dans le contenu du programme ou causées par des brouillages externes sont déjà en grande partie supprimées. En conséquence, on peut considérer qu'un émetteur de radiodiffusion MF ne respecte pas la limite de la puissance de modulation si la valeur maximale de la puissance de multiplexage mesurée dépasse 0 dBr + l'incertitude de mesure. On peut considérer que 0,2 dBr constitue une valeur utilisable dans la pratique (voir le Tableau 4).

NOTE – Dans le cas où l'opérateur de réseau contrôle lui-même les limites, il est recommandé de soustraire l'incertitude de mesure réelle du récepteur de test aux valeurs limites (75 kHz pour l'excursion et 0,0 dBr pour la puissance de multiplexage). Cela garantit que ces valeurs limites sont respectées lorsqu'elles sont contrôlées de manière indépendante par les autorités suivant l'évaluation des résultats ci-dessus.

5 Présentation des résultats de mesure**5.1 Puissance de modulation**

La puissance de modulation sera présentée sous la forme d'une fonction du temps pendant l'intervalle de mesure considéré. La valeur maximale enregistrée doit être indiquée.

5.2 Excursion de fréquence

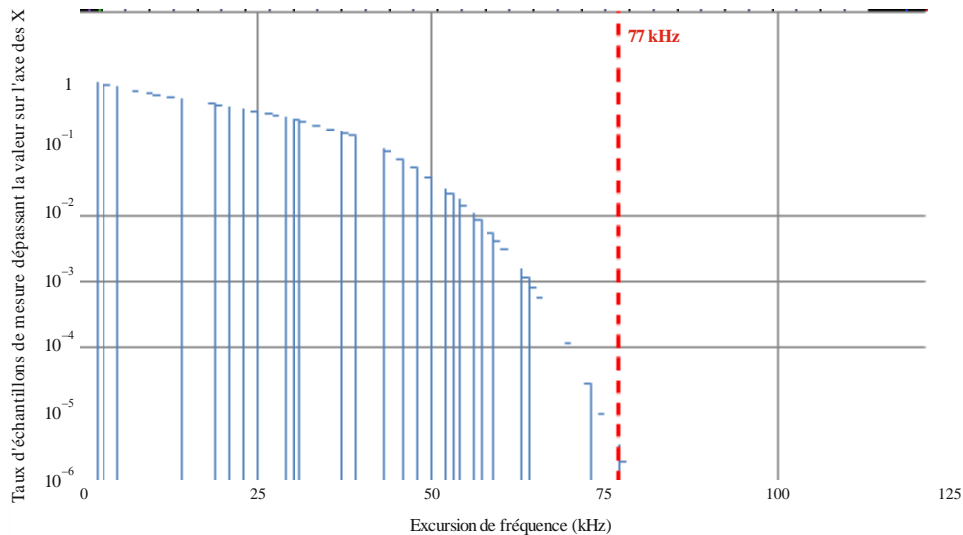
Le pourcentage d'échantillons dépassant 75 kHz + l'incertitude de mesure (voir § 4) doit être indiqué.

On pourra obtenir un plus grand nombre d'informations relatives à l'excursion de fréquence avec des histogrammes et en fonction du temps. Les graphiques de l'excursion de fréquence seront élaborés comme suit:

- Diviser la plage d'excursion de fréquence étudiée (à savoir 150 kHz) en fonction de la résolution souhaitée (1 kHz par exemple), ce qui détermine le nombre de colonnes B de l'histogramme ($B=150$ dans le cas présent).
- Pour chaque colonne, compter le nombre d'échantillons pour lesquels la valeur correspond à la colonne considérée.
- Pour chaque colonne x , additionner les décomptes des colonnes comprises entre x et B et normaliser par le nombre total d'échantillons N . Le résultat de cette opération est une courbe de distribution cumulative complémentaire telle que celle représentée à la Fig. 5;
- En outre, obtenir M valeurs de crête pendant la durée d'observation de l'excursion. M dépend de la résolution du support (dispositif, écran, imprimante, etc.) sur lequel sont affichés les résultats et de la durée d'observation. Le temps d'intégration des valeurs de crête est égal au temps d'observation divisé par M . Des valeurs utilisables dans la pratique pour le temps d'intégration pourraient être 1 s ou 10 s. Ces M valeurs de crête de l'excursion de fréquence seront représentées sous forme d'une fonction du temps sur l'intervalle de mesure, comme indiqué dans la Fig. 6.

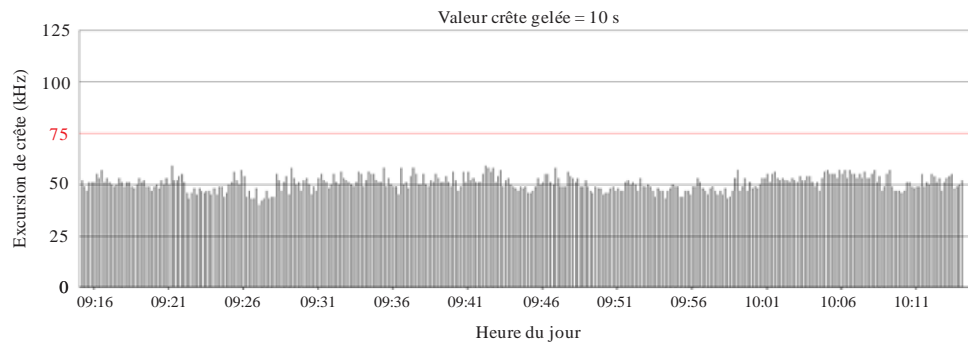
FIGURE 5

Histogramme de distribution cumulative complémentaire de l'excursion dans le cas d'une incertitude de mesure de 2 kHz



SM.1268-0 5

FIGURE 6

Représentation de l'excursion en fonction du temps

SM.1268-06