RECOMMANDATION UIT-R BS.559-2*,**

# Mesure objective des rapports de protection RF en radiodiffusion (B.km, B.hm et B.dam)

(1978-1982-1990)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

a) que le rapport de protection en radiofréquence est directement lié au rapport de protection en audiofréquence (voir la Recommandation UIT-R BS.638);

b) que cette relation dépend de plusieurs facteurs techniques tels que:

– la différence de fréquence entre porteuse utile et porteuse brouilleuse;

– les largeurs de bande à l'émission et à la réception;

– la raideur de coupure des filtres de limitation de bande aux extrémités émission et réception;

– le type et le taux de modulation;

– la répartition spectrale de l'énergie du signal modulant;

– la compression dynamique;

– la préaccentuation et la désaccentuation, le cas échéant;

– le rayonnement hors bande de l'émetteur;

– la caractéristique amplitude-fréquence de l'oreille humaine, qui peut être simulée par un réseau de pondération de l'appareil de mesure (Recommandation UIT-R BS.468);

– la tension à l'entrée du récepteur,

*recommande*

que, après avoir déterminé un rapport de protection en audiofréquence, on emploie l'une des méthodes objectives suivantes, à deux signaux, pour déterminer les rapports de protection en radiofréquence pour la radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude:

## 1 Méthode de mesure objective

### 1.1 Principe

La méthode de mesure objective est essentiellement une méthode à deux signaux qui consiste à moduler successivement, avec un taux de modulation donné, l'émetteur utile et l'émetteur brouilleur par un signal de bruit coloré normalisé, dont la répartition spectrale est semblable à celle des programmes de musique de danse moderne.

L'effet perturbateur est mesuré à la sortie audiofréquence du récepteur au moyen d'un circuit de mesure à voie unique en utilisant un appareil normalisé, ou un appareil doté d'un circuit de mesure à deux voies (voir le § 1.2).

---

* La Recommandation UIT-R BS.560 contient des informations complémentaires.

** La Commission d'études 6 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2002 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 44.

### 1.2 Mesure à la sortie du récepteur

Pour mesurer le niveau des signaux utile et brouilleur à la sortie du récepteur, il faut utiliser:

– un appareil normalisé muni d'un réseau destiné à pondérer l'effet de brouillage subjectif des différentes fréquences brouilleuses en accord avec la Recommandation UIT-R BS.468, ainsi qu'un voltmètre pour la mesure* des valeurs efficaces;

– ou un appareil spécial fonctionnant à l'aide du circuit représenté à la Fig. 1 et pourvu de filtres de pondération ayant la caractéristique d'amplitude/fréquence indiquée à la Fig. 2. Un tel appareil est constitué de circuits pour la séparation du brouillage à bande étroite et à large bande au moyen respectivement de filtres passe-bande et de filtres réjecteurs accordables, de circuits pour la pondération de chaque type de brouillage avec des maxima aux alentours de 4 kHz, et de 0,5 et 3,0 kHz respectivement, un circuit d'addition et un voltmètre en valeur efficace.

### 1.3 Signal de bruit utilisé pour la modulation des générateurs

Un signal destiné à simuler la modulation doit satisfaire aux deux conditions suivantes:

– sa composition spectrale doit correspondre à un programme type de radiodiffusion;

– sa dynamique doit être assez faible pour qu'il fournisse à l'appareil de mesure une indication constante et bien définie.

On a pris comme base la répartition spectrale de la musique de danse moderne; en effet, ce type de programme, qui est l'un des plus courants, possède une proportion élevée de fréquences aiguës. Toutefois, la dynamique de ce type de programme est trop large et ne satisfait pas à la deuxième condition précédemment indiquée. Le signal approprié pour ce but est un bruit coloré normalisé, dont la répartition spectrale est très proche de celle de la musique de danse moderne (voir la courbe A de la Fig. 3 mesurée au moyen de filtres «tiers d'octave»)**.

Ce signal de bruit coloré normalisé peut être obtenu à partir d'un générateur de bruit blanc et d'un circuit de filtrage comme celui qui est représenté à la Fig. 4. La caractéristique de ce filtre est la courbe B de la Fig. 3. La différence entre les courbes A et B de cette figure est due au fait que la première repose sur des mesures faites avec des filtres «tiers d'octave», qui laissent passer de plus grandes quantités d'énergie, la largeur de leur bande passante augmentant avec la fréquence.

Au-delà de la fréquence de modulation maximale utilisée, la bande du bruit coloré normalisé doit être limitée par un filtre passe-bas, dont la fréquence de coupure et la pente sont telles que la largeur de bande du signal modulant est égale à la moitié environ de la bande normalisée à l'émission. La caractéristique amplitude-fréquence en audiofréquence de l'étage de modulation du générateur ne doit pas varier de plus de 2 dB jusqu'à la fréquence de coupure du filtre passe-bas.

---

* Une mesure en valeur efficace au lieu de la mesure de quasi-crête spécifiée dans la Recommandation UIT-R BS.468 permet de mieux tenir compte de la fréquence de battement qui prédomine pour de faibles écartements entre canaux, ainsi que d'autres phénomènes. Cette conclusion est fondée sur le très bon accord constaté, pour tous les écarts de fréquence, entre les valeurs du rapport de protection RF, mesurés par la méthode objective à deux signaux et ceux obtenus par des essais subjectifs.

** La Recommandation UIT-T J.19 propose un signal de bruit coloré différent. L'utilisation de ce signal à la place de celui proposé dans la présente Recommandation conduirait à des valeurs relatives différentes du rapport de protection RF, ce qui ne serait justifié que si les caractéristiques du signal radiophonique type étaient mieux simulées par le bruit coloré de la Recommandation UIT-T J.19.

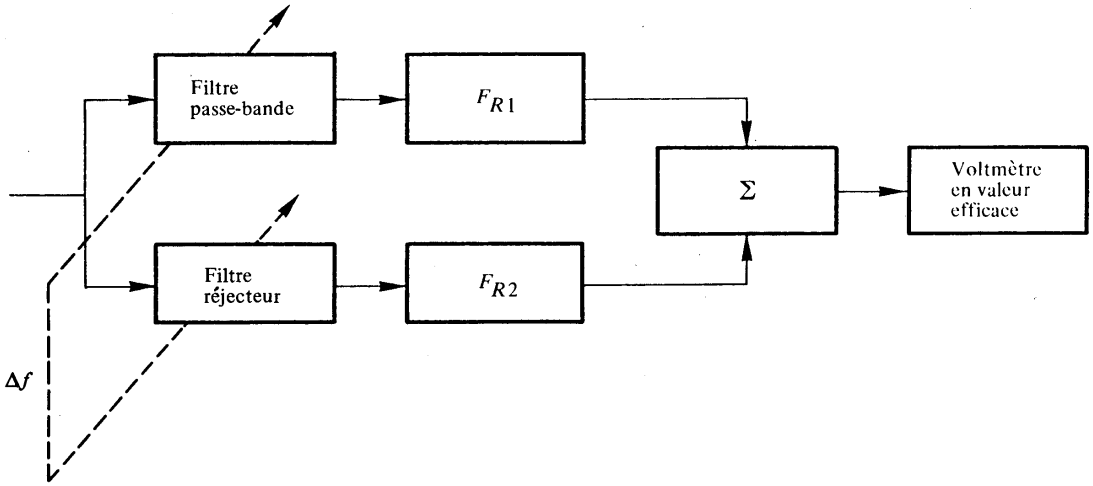


FIGURE 1 – *Schéma de principe du dispositif de mesure*

$F_{R1}$, $F_{R2}$: réseau de pondération

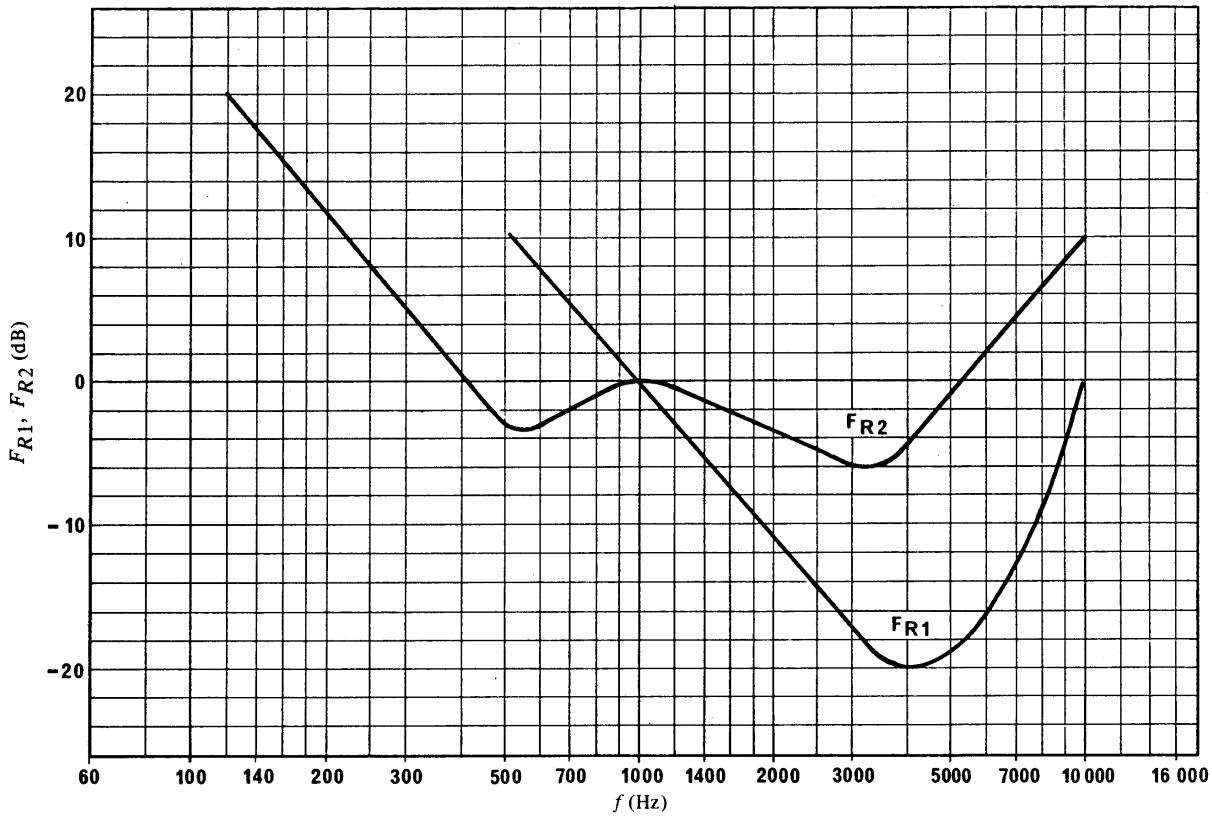


FIGURE 2 – *Réponses en fréquence des réseaux de pondération*

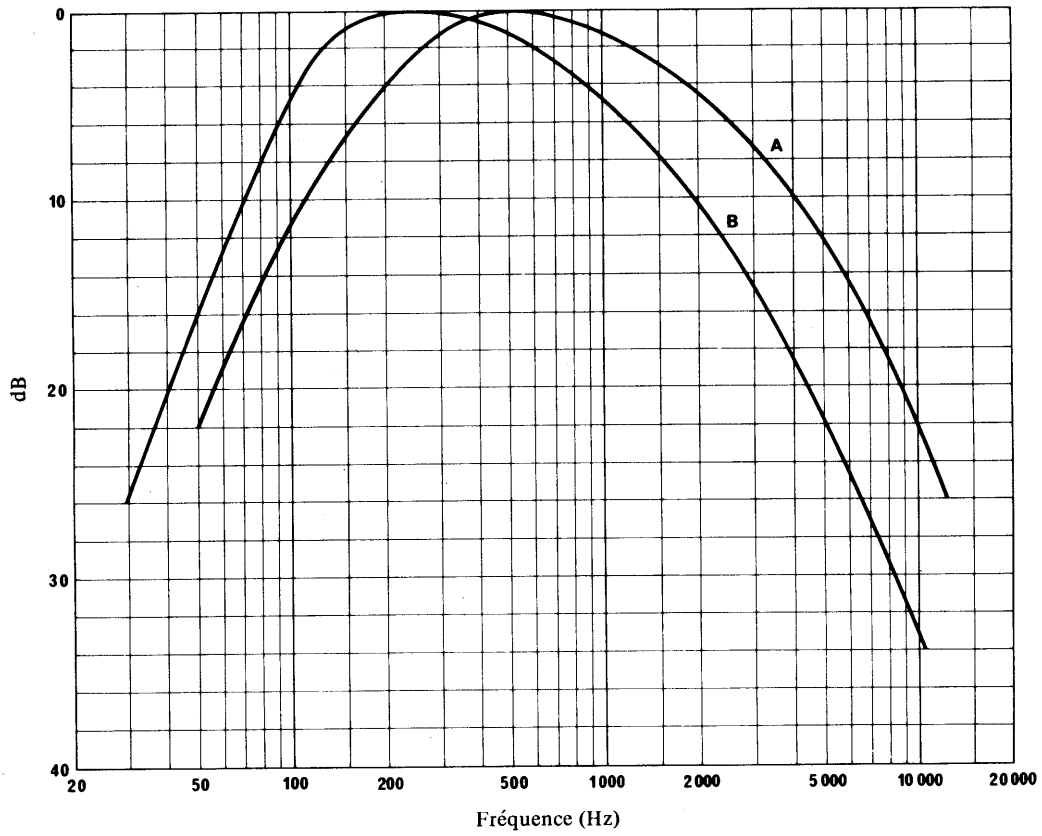


FIGURE 3

Courbe A: spectre du bruit normalisé (mesuré à l'aide d'un filtre « tiers d'octave »)
Courbe B: réponse en fréquence du filtre

D02-sc

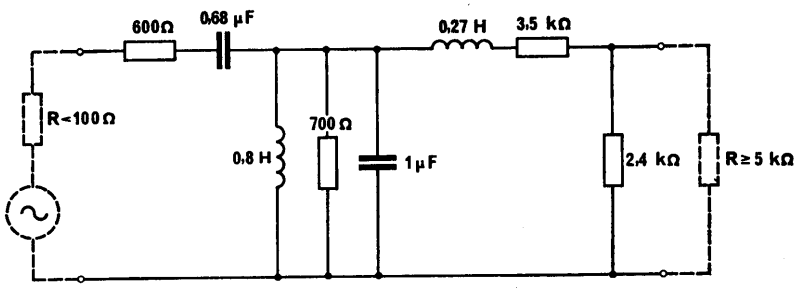


FIGURE 4 – *Filtre*

D03-sc

## 1.4 Dispositif de mesure

La Fig. 5 donne le schéma de principe du dispositif de mesure avec, en traits gras, les éléments présentant une importance primordiale. Les autres éléments sont des appareils de mesure et de contrôle nécessaires ou utiles à la réalisation pratique des essais.

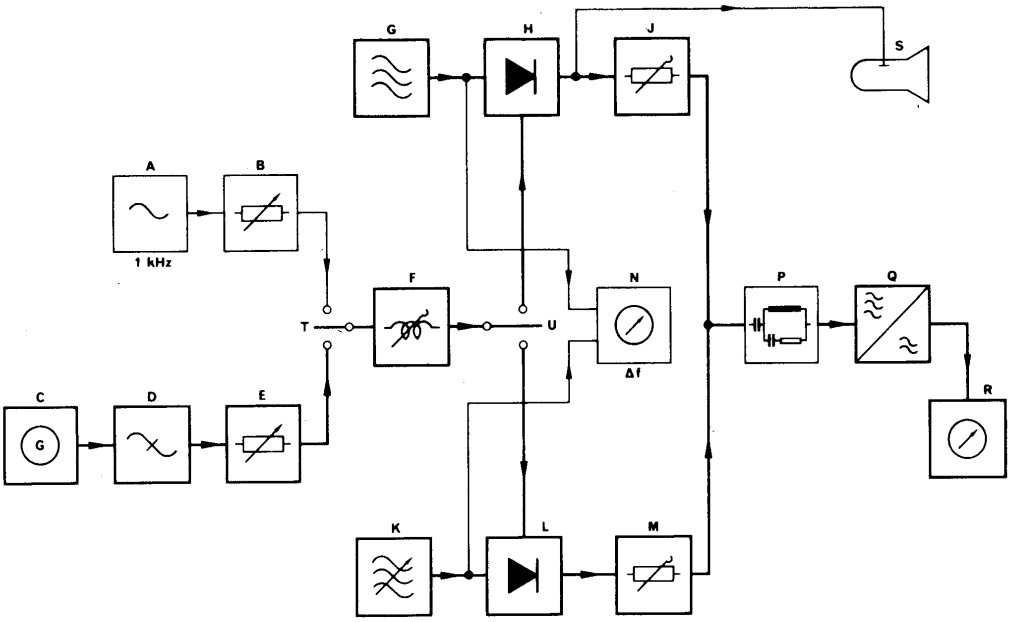


FIGURE 5 – *Schéma de principe du dispositif de mesure*

A: générateur audiofréquence à 1 kHz (étalonnage du taux de modulation)
B: affaiblisseur étalonné
C: générateur de bruit
D: **filtre de pondération du bruit (voir la Fig. 4)**
E: affaiblisseur étalonné
F: filtre passe-bas
G: générateur de signal utile
H: modulateur
J: affaiblisseur étalonné
K: générateur de signal brouilleur
L: modulateur
M: affaiblisseur étalonné
N: fréquencemètre (pour la mesure de la différence de fréquence entre les générateurs G et K)
P: **antenne fictive, selon la Recommandation UIT-R SM.331**
Q: récepteur en essai
R: **appareil de mesure des valeurs efficaces selon le § 1.2**
S: oscilloscope (pour contrôle)
T: commutateur de sélection pour la modulation (fréquence d'étalonnage à 1 kHz ou bruit normalisé)
U: inverseur de la modulation (émetteur utile ou brouilleur G ou K)

0559-05

## 1.5 Taux de modulation des émetteurs de mesure

Les taux de modulation des émetteurs utile et brouilleur sont fixés selon les prescriptions suivantes. On module d'abord les générateurs à 50% avec un signal sinusoïdal à 1 kHz provenant du générateur A. Le réglage de l'amplitude est obtenu par l'affaiblisseur B et contrôlé à l'oscilloscope S sur les sorties radiofréquence des modulateurs H ou L. On contrôle avec l'appareil R les tensions audiofréquence aux entrées des modulateurs au moyen de l'inverseur U. L'amplitude du bruit (C + D) est mesurée avec le même appareil R et réglée au moyen de l'affaiblisseur E, de manière que l'indication correspondante soit inférieure de 6 dB à celle obtenue avec le signal sinusoïdal, à condition que l'appareil ait une constante de temps de 200 ms. On a alors un taux de modulation qui, mesuré au modulomètre classique à indication de quasi-crête, serait de 50%. Un taux plus élevé n'est pas souhaitable car le bruit, à cause de sa faible dynamique, produirait une gêne plus importante que ne le ferait un programme réel.

### 1.6 Rapport signal/brouillage en audiofréquence

Le générateur utile (G + H + J) modulé par le bruit, conformément aux § 1.3 et 1.5, produit à la sortie audiofréquence du récepteur en essais Q un signal qui, mesuré avec l'appareil R, représente le niveau de référence «zéro». La modulation de bruit est en outre commutée, à l'aide de l'inverseur U, de l'entrée audiofréquence du générateur utile H sur l'entrée audiofréquence du générateur brouilleur L. Après suppression de la modulation du signal utile, le niveau en radiofréquence de l'émission brouilleuse (K + L + M) est ensuite réglé de telle manière que la tension de brouillage mesurée par l'appareil R, à la sortie du récepteur, corresponde au rapport signal/brouillage spécifié en audiofréquence, par exemple 20 dB, 30 dB ou 40 dB.

### 1.7 Niveau, en radiofréquence, du signal utile à l'entrée du récepteur

La tension radiofréquence de sortie du générateur utile (G + H + J) doit tout d'abord être aussi faible que possible, pour que les résultats de mesure ne dépendent que des caractéristiques linéaires du récepteur. Toutefois, le niveau de la porteuse utile non modulée doit être suffisamment élevé pour que la tension de sortie due au bruit propre du récepteur se situe à au moins 3 dB en dessous de la tension de bruit due au générateur brouilleur modulé, conformément au § 1.6. On augmente alors progressivement le niveau radiofréquence de l'émission utile (G + H + J) afin que les effets de non-linéarité du récepteur, c'est-à-dire l'intermodulation, entrent progressivement en jeu.

### 1.8 Influence de la distorsion non linéaire des générateurs

La distorsion non linéaire qui apparaît lors de la modulation du générateur crée des composantes qui, en élargissant le spectre radiofréquence, déterminent une augmentation du rapport signal/brouilleur en radiofréquence sur le canal adjacent et le canal suivant.

On devra, par conséquent, maintenir le taux de distorsion non linéaire des générateurs à une valeur inférieure à 1 ou 2%.

### 1.9 Précision

Ayant comparé les résultats fournis par la méthode objective avec ceux d'essais subjectifs correspondants, on a constaté que les mesures objectives donnent une première approximation des résultats obtenus par la méthode subjective. Dans le cas d'un programme très sensible aux interférences (par exemple, parole avec de longues pauses), la différence entre les mesures objectives et les essais subjectifs peut être supérieure à 5 dB.

Les résultats de mesure des rapports de protection dépendent très étroitement de la bande passante du récepteur. Pour les mesures ou les calculs par la méthode à voie unique, la Fig. 6 montre la variation de l'erreur sur la mesure du rapport de protection $\Delta A$, en fonction de l'écart de fréquence pour deux valeurs de la bande passante du récepteur, pour des fréquences intermédiaires de $2\Delta f = 9$ kHz et de $2\Delta f = 5$ kHz (à –6 dB).

## 2 Méthode numérique

### 2.1 Principe

Pour déterminer le rapport relatif de protection en radiofréquence, on simule par un modèle mathématique les processus physiques qui sont à la base des méthodes objectives, à savoir la détermination de la puissance du bruit pondéré à l'aide des méthodes à voie unique ou à deux voies (voir le § 1.2).

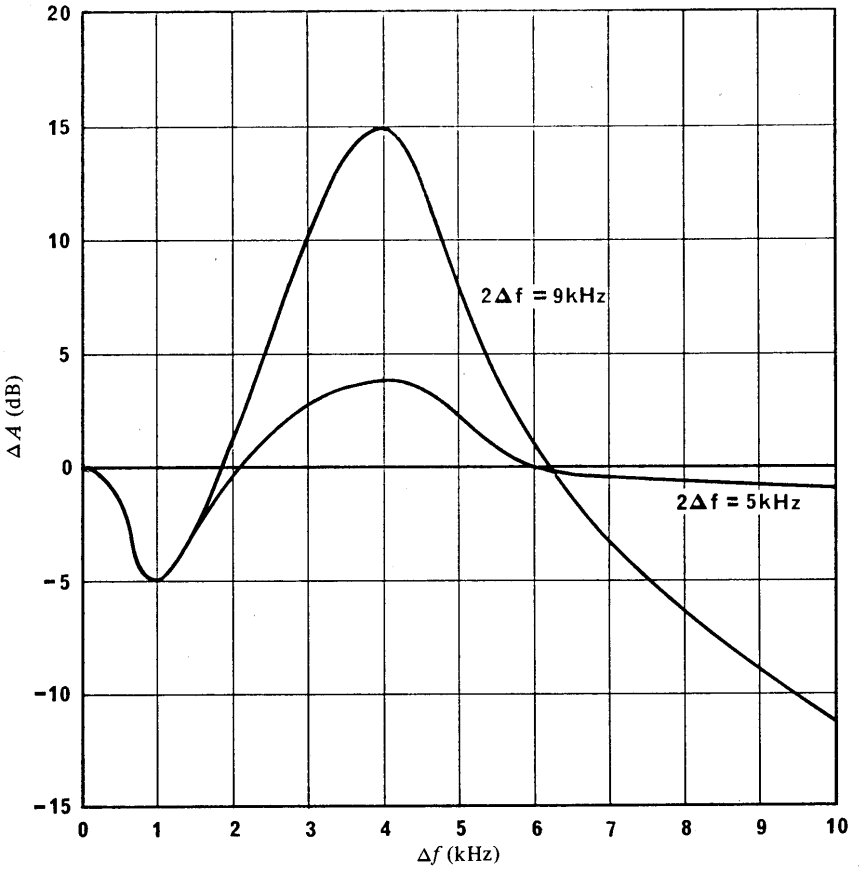


FIGURE 6 – *Erreur sur la mesure du rapport de protection ΔA, en fonction de l'écart de fréquence Δf*

D05-sc

On considère deux canaux de fréquences porteuses $f_T$ et $f_R$ dont la différence de fréquence est égale à $\Delta f$. La densité spectrale de puissance de l'émission correspondant à la largeur de bande $B_{eff}$ est simulée par la fonction $F_T$, laquelle dépend de la fréquence relative $|f|$. Cette fonction est formée de sous-fonctions multiplicatives (par exemple, affaiblissement, distribution spectrale de l'énergie, préaccentuation des audiofréquences supérieures) et de sous-fonctions additives (par exemple, rayonnement hors bande) ou construite au moyen d'un contour polygonal. De la même façon, la caractéristique de réponse globale du récepteur, y compris la pondération de la puissance de bruit à l'aide des méthodes à voie unique ou à deux voies est représentée au moyen de la fonction $F_R$ ou $F_{R1}$ et $F_{R2}$ respectivement, selon la fréquence relative $|\Delta f - f|$.

Dans le cas de la modulation à double bande latérale, $F_T$ et $F_R$ sont symétriques par rapport aux fréquences porteuses respectives. La Fig. 7 donne la forme fondamentale des fonctions $F_T$ et $F_R$, ainsi que des sous-fonctions les plus importantes, et la signification des notations utilisées.

La densité spectrale de puissance de l'émetteur (fréquence porteuse $f_T$) produit une puissance brouilleuse $\Delta P_T$ dans le canal adjacent (fréquence porteuse $f_R$); on peut calculer cette puissance, pour un écartement de fréquence $\Delta f$ donné, en intégrant le produit $F_T \times F_R$:

$$\Delta P_T = \int_{f_1}^{f_2} F_T\ (|f|) \times F_R\ (|\Delta f - f|) \times \mathrm{d}f \qquad (1)$$

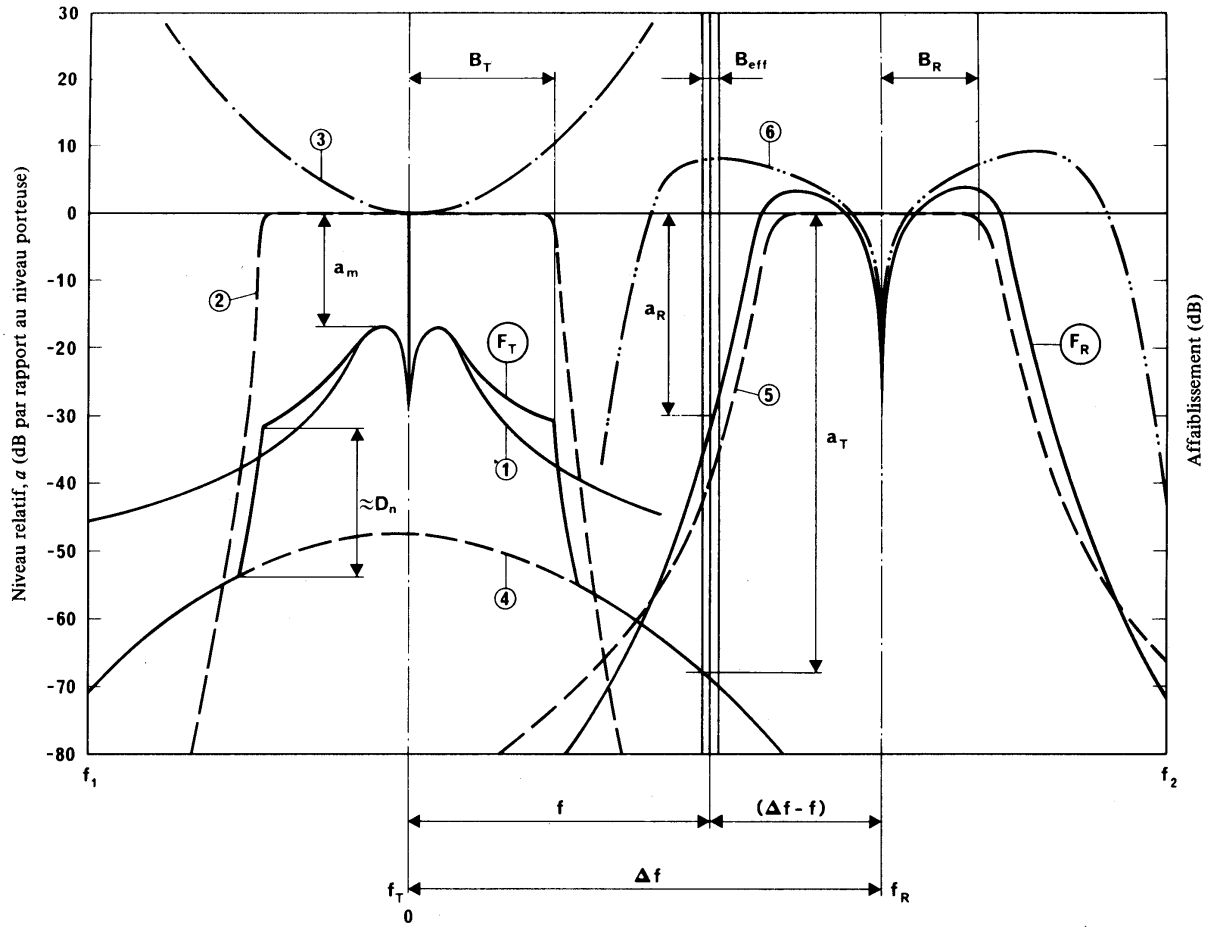


FIGURE 7 – *Relations fondamentales*

$B_T$ : largeur de bande à 3 dB de l'émetteur (valeur totale)

$B_R$ : largeur de bande à 3 dB du récepteur (valeur totale)

$B_{eff}$ : accroissement de largeur de bande auquel se rapporte le spectre de puissance et dans lequel la courbe de densité de puissance et la réponse en affaiblissement du récepteur peuvent être considérées comme constantes dans chaque cas, aux fins du calcul

$f_T$ : fréquence porteuse de l'émetteur

$f_R$ : fréquence porteuse du canal reçu

$\Delta f$ : écartement de fréquence $|f_R - f_T|$

$f_1, f_2$ : limites inférieure et supérieure d'intégration

① : distribution spectrale de l'énergie dans la bande latérale

② : caractéristique d'affaiblissement du filtre de limitation de bande, dans l'émetteur

③ : préaccentuation à l'émission

④ : rayonnement hors bande de l'émetteur

$F_T$ : fonction représentant la densité spectrale de puissance de l'émission

$D_n$ : affaiblissement des produits d'intermodulation de l'émetteur, dans le cas de la mesure à deux audiofréquences

$a_m$ : niveau relatif de la densité de puissance maximale dans la bande latérale, par rapport au niveau de la porteuse

⑤ : caractéristique d'affaiblissement du filtre de limitation de bande, dans le récepteur

⑥ : courbe de pondération du filtre psophométrique

$F_R$ : fonction représentant la caractéristique d'affaiblissement globale du récepteur, y compris la pondération effectuée au moyen du filtre psophométrique (affaiblissement pondéré du récepteur)

$a_T$ : niveau de la densité spectrale de puissance de l'émission à la fréquence $f$

$a_R$ : affaiblissement pondéré du récepteur à la fréquence $f$

D06-sc

Toutefois, lorsqu'on fait cette intégration pour $\Delta f = 0$ (récepteur exactement accordé sur la fréquence d'émission), on obtient la puissance de réception utile $\Delta P_N$. Le rapport de protection relatif $A_{rel}$ en radiofréquence est le rapport puissance brouilleuse/puissance utile dans le canal considéré:

$$A_{rel} = 10 \log (\Delta P_T / \Delta P_N) \quad \text{dB} \tag{2}$$

Cette méthode numérique permet aussi de déterminer séparément les composantes brouilleuses produites par le battement de la porteuse et par les bandes latérales. Il est commode de faire l'intégration (1) à l'aide de calculateurs électroniques et selon les méthodes d'intégration numérique. Dans la pratique, l'intégration numérique permet de résoudre la plupart des problèmes d'une manière satisfaisante, si l'on procède par accroissements successifs de largeur de bande $B_{eff} = 100$ Hz.

Etant fondée sur la détermination de la puissance, cette méthode ne tient pas compte de l'affaiblissement supplémentaire du bruit, de 3 dB, que l'on constate quand on mesure le brouillage dans un même canal, sur des systèmes à démodulation d'enveloppe.

Les rapports de protection relatifs en radiofréquence obtenus par la méthode numérique doivent donc être diminués de 3 dB.

Une version simplifiée de cette méthode a été mise au point en France. En principe, cette méthode ne tient compte que de la fréquence $f$ qui est une composante essentielle de l'intégrale de la formule (1). En conséquence, on peut établir le rapport de protection sous forme de graphique à l'aide des courbes représentatives des fonctions $F_T$ et $F_R$. La méthode est appelée «méthode graphique».

## 2.2 Précision et limites de la méthode

Les résultats obtenus sur un système à double bande latérale sont représentés sur la Fig. 8, à côté des résultats de mesures.

Tant que le rapport de protection relatif en radiofréquence ne dépasse pas –40 dB, les écarts entre le calcul et la mesure atteignent environ 1 dB. Au-delà de –40 dB, les mesures sont de plus en plus affectées par le bruit inévitable, inhérent à l'équipement utilisé, et par la distorsion d'intermodulation dans le récepteur, qui ne peut plus être négligée, facteurs dont il n'est pas tenu compte dans la méthode de calcul.

La méthode graphique convient en général aux estimations des valeurs des rapports de protection, sous réserve que le brouillage soit déterminé essentiellement par une partie relativement limitée du spectre du signal brouilleur. Les différences que l'on constate entre ces valeurs, par rapport à celles que l'on obtient à l'aide de méthodes objectives, ne dépassent pas 3 dB.

NOTE – La méthode de mesure est plus précise que la méthode graphique et que la méthode numérique, car il y est tenu compte de façon plus exacte de tous les paramètres. Cependant, la méthode graphique et la méthode numérique présentent l'avantage essentiel de permettre une détermination immédiate des valeurs du rapport de protection en radiofréquence pour tout récepteur, existant ou en projet. Moyennant un simple programme d'ordinateur, la méthode numérique peut être exécutée en une fraction du temps nécessaire pour la mesure objective. Elle convient donc pour optimiser les caractéristiques de tout système de radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude dans les bandes 5 (ondes kilométriques) et 6 (ondes hectométriques) et, moyennant quelques légères modifications seulement, des systèmes à bande latérale unique.

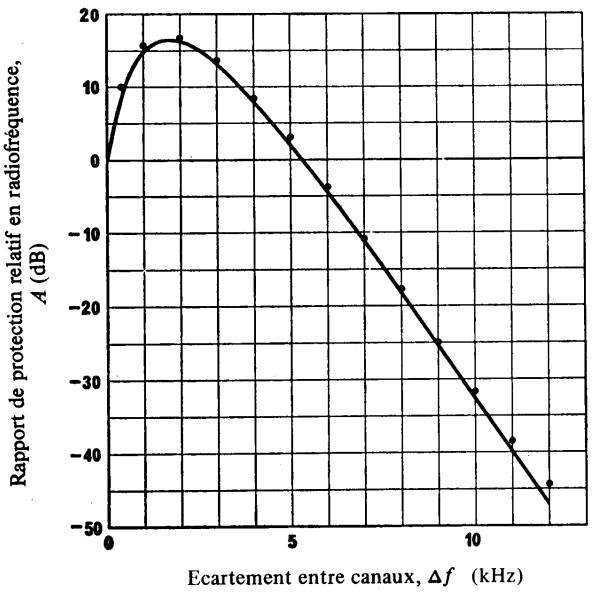


FIGURE 8 – *Comparaison entre les valeurs calculées et mesurées du rapport de protection relatif en radiofréquence pour un système à double bande latérale*

——— : valeurs calculées ● : valeurs mesurées

D07-sc