

RECOMMANDATION UIT-R SM.328-9

SPECTRES ET LARGEURS DE BANDE DES ÉMISSIONS

(Question UIT-R 76/1)

(1948-1951-1953-1956-1959-1963-1966-1970-1974-1978-1982-1986-1990-1994-1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que, dans l'intérêt d'une utilisation efficace du spectre radioélectrique, il est indispensable d'établir, pour chaque classe d'émission, des règles régissant le spectre rayonné par une station d'émission;
- b) que, pour la détermination d'un spectre émis de largeur optimale, on doit tenir compte de l'ensemble de la voie de transmission, ainsi que de toutes ses conditions techniques de fonctionnement, y compris des autres circuits et services radioélectriques utilisant la bande en partage, et, en particulier, des phénomènes de propagation;
- c) que les concepts de «largeur de bande nécessaire» et «largeur de bande occupée» définis dans les numéros 146 (S1.152) et 147 (S1.153) du Règlement des radiocommunications (RR) sont utiles pour spécifier les propriétés spectrales d'une émission ou d'une classe d'émission donnée de la manière la plus simple;
- d) que l'emploi de ces seules définitions n'est cependant pas suffisant pour traiter l'ensemble du problème de l'économie et de l'efficacité d'emploi du spectre radioélectrique et que l'on doit être en mesure de poser les règles limitant, d'une part, la largeur de bande occupée par une émission à la valeur la plus efficace dans chaque cas et, d'autre part, les amplitudes des composantes émises dans les parties extérieures du spectre, de façon à diminuer les brouillages causés dans les voies voisines;
- e) que, s'agissant de l'utilisation efficace du spectre radioélectrique, il faut connaître les largeurs de bande nécessaires pour chaque classe d'émission; que, dans certains cas, les formules données dans la Recommandation UIT-R SM.1138 peuvent uniquement servir de guide, et que la largeur de bande nécessaire pour certaines classes d'émission doit être évaluée conformément à une norme d'émission spécifiée et à une exigence de qualité;
- f) que la largeur de bande occupée et la largeur de bande à x dB doivent permettre aux exploitants et aux organismes nationaux et internationaux d'effectuer des mesures sur la largeur de bande réellement occupée par une émission donnée et de déterminer ainsi, par comparaison avec la largeur de bande nécessaire, si cette émission n'occupe pas une largeur excessive pour le service assuré et n'est pas susceptible de créer des brouillages au-delà des limites prévues pour cette classe d'émission;
- g) que, outre la limitation de la largeur de bande occupée par une émission à la valeur la plus rationnelle dans chaque cas, il convient d'établir des règles pour limiter l'amplitude des composantes émises à l'extérieur de la bande en conciliant les exigences suivantes:
- la nécessité de limiter au strict minimum le brouillage causé aux canaux adjacents;
 - les possibilités techniques et pratiques de construction des émetteurs et des récepteurs et la technique de modulation;
 - la limitation à une valeur admissible des déformations ou distorsions apportées au signal;
- h) que, si certains problèmes d'espacement entre canaux ou de brouillage peuvent être traités d'une façon approchée mais simple en employant les seules données de largeur de bande nécessaire (pour une classe d'émission donnée), de largeur de bande occupée ou de largeur de bande à x dB (pour une émission donnée) et de spectre émis en dehors de la bande nécessaire, les problèmes de brouillage ne peuvent être traités avec précision sans la connaissance complète, pour toutes les fréquences du spectre radioélectrique, soit de la transformée de Fourier du signal, soit de la fonction spectrale représentant son spectre d'énergie;
- j) que, dans plusieurs cas, l'utilisation de systèmes employant des largeurs de bande nécessaires beaucoup plus grandes que la largeur de la bande de base (par exemple, les systèmes faisant appel à la modulation de fréquence avec indice de modulation élevé, aux techniques d'élargissement du spectre du signal) augmente potentiellement le nombre d'utilisateurs partageant une bande, du fait que la sensibilité des récepteurs au brouillage peut être suffisamment réduite pour compenser plus que largement la réduction du nombre de canaux disponibles, ce qui accroît l'efficacité d'emploi du spectre,

recommande

1 Définitions

qu'on emploie les définitions et notes explicatives suivantes pour traiter les questions de largeur de bande, d'espacement entre canaux et de brouillage:

1.1 Bande de base

Bande de fréquences occupée par un signal, ou un certain nombre de signaux multiplexés, que doit acheminer une ligne ou un système de transmission radioélectrique.

NOTE 1 – Dans le cas des radiocommunications, le signal de bande de base correspond au signal modulant l'émetteur.

1.2 Largeur de la bande de base

Largeur de la bande de fréquences occupée par un signal, ou par plusieurs signaux multiplexés, que doit acheminer une ligne ou un système de transmission radioélectrique.

1.3 Largeur de bande nécessaire

Pour une classe d'émission donnée, largeur de la bande de fréquences juste suffisante pour assurer la transmission de l'information à la vitesse et avec la qualité requises, dans des conditions données (numéro 146 (S1.152) du RR).

1.4 Rapport d'étalement de la largeur de bande

Rapport de la largeur de bande nécessaire à la largeur de la bande de base.

1.5 Spectre hors bande (d'une émission)

Partie du spectre de densité de puissance (ou du spectre de puissance lorsque celui-ci consiste en des composantes discrètes) d'une émission, qui est extérieure à la bande nécessaire et qui résulte de la modulation, à l'exclusion des rayonnements non essentiels.

1.6 Emission hors bande

Emission sur une ou des fréquences situées en dehors de la largeur de bande nécessaire mais en son voisinage immédiat, due au processus de la modulation, à l'exclusion des rayonnements non essentiels (numéro 138 (S1.144) du RR).

NOTE 1 – La non-linéarité dans les émetteurs à modulation d'amplitude (émetteurs à bande latérale unique inclus) peut produire des émissions hors bande qui sont adjacentes à la largeur de bande nécessaire, ce à cause des produits d'intermodulation d'ordre impair. Les niveaux admissibles de distorsion par intermodulation sont spécifiés dans la Recommandation UIT-R SM.326.

1.7 Rayonnement non essentiel

Rayonnement sur une ou des fréquences situées en dehors de la largeur de bande nécessaire et dont le niveau peut être réduit sans affecter la transmission de l'information correspondante. Ces rayonnements comprennent les rayonnements harmoniques, les rayonnements parasites, les produits d'intermodulation et de conversion de fréquence, à l'exclusion des émissions hors bande (numéro 139 (S1.145) du RR).

1.8 Rayonnements non désirés

Ensemble des rayonnements non essentiels et des rayonnements provenant des émissions hors bande (numéro 140 (S1.146) du RR).

1.9 Les termes associés aux définitions données aux § 1.6, 1.7 et 1.8 sont exprimés dans les langues de travail comme indiqué dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

Français	Anglais	Espagnol
Emission hors bande	Out-of-band emission	Emisión fuera de banda
Rayonnement non essentiel	Spurious emission	Emisión no esencial
Rayonnements non désirés	Unwanted emissions	Emisiones no deseadas

1.10 Spectre hors bande admissible (d'une émission)

Pour une classe d'émission donnée, valeur admissible de la densité de puissance (ou de la puissance des composantes discrètes) dans les parties du spectre situées au-dessus et en dessous des limites de la bande nécessaire.

NOTE 1 – La densité de puissance (ou la puissance) admissible peut être spécifiée au moyen d'une courbe limite donnant cette densité (ou cette puissance) en dB par rapport au niveau de référence spécifié, aux fréquences situées à l'extérieur de la bande nécessaire. Les abscisses des points de départ de cette courbe doivent coïncider avec les fréquences limites de la bande nécessaire. On trouve des descriptions de telles courbes limites pour diverses classes d'émission au § 3.

1.11 Puissance hors bande (d'une émission)

Puissance totale émise sur l'ensemble des fréquences du spectre hors bande.

1.12 Puissance hors bande admissible

Pour une classe d'émission donnée, valeur admissible de la puissance moyenne émise dans les parties du spectre situées au-dessus et en dessous des limites de la bande nécessaire.

NOTE 1 – Le niveau de puissance hors bande toléré doit être déterminé pour chaque classe d'émission et exprimé sous forme d'un pourcentage β de la puissance totale moyenne rayonnée, déduite de la courbe de limitation fixée pour chaque classe d'émission.

1.13 Largeur de bande occupée

Largeur de la bande de fréquences 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 de l'Assemblée des radiocommunications pour la classe d'émission considérée, la valeur $\beta/2$ doit être prise égale à 0,5% (numéro 147 (S1.153) du RR).

NOTE 1 – On peut déterminer la valeur de β en calculant la somme des pourcentages de la puissance moyenne totale au-dessus et au-dessous de la largeur de la bande nécessaire. La largeur de bande occupée est optimale lorsqu'elle est égale à la largeur de bande nécessaire.

1.14 Largeur de bande à x dB

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.

1.15 Bande de fréquences assignée

Bande de fréquences à l'intérieur de laquelle l'émission d'une station donnée est autorisée; la largeur de cette bande est égale à la largeur de bande nécessaire, augmentée du double de la valeur absolue de la tolérance de fréquence. Dans le cas des stations spatiales, la bande de fréquences assignée inclut le double du décalage maximum dû à l'effet Doppler pouvant se produire par rapport à un point quelconque à la surface de la Terre (numéro 141 (S1.147) du RR).

1.16 Fréquence assignée

Centre de la bande de fréquences assignée à une station (numéro 142 (S1.148) du RR).

1.17 Fréquence caractéristique

Fréquence aisément identifiable et mesurable dans une émission donnée.

Une fréquence porteuse peut, par exemple, être désignée comme fréquence caractéristique (numéro 143 (S1.149) du RR).

1.18 Fréquence de référence

Fréquence ayant une position fixe et bien déterminée par rapport à la fréquence assignée. Le décalage de cette fréquence par rapport à la fréquence assignée est, en grandeur et en signe, le même que celui de la fréquence caractéristique par rapport au centre de la bande de fréquences occupée par l'émission (numéro 144 (S1.150) du RR).

1.19 Tolérance de fréquence

Ecart maximal admissible entre la fréquence assignée et la fréquence située au centre de la bande occupée par une émission, ou entre la fréquence de référence et la fréquence caractéristique d'une émission.

La tolérance de fréquence est exprimée en millièmes ou en hertz (numéro 145 (S1.151) du RR).

1.20 Temps d'établissement d'un signal télégraphique

Temps pendant lequel le courant télégraphique passe de 1/10 à 9/10 (ou vice versa) de la valeur qu'il atteint en régime établi; dans le cas de signaux dissymétriques, les temps d'établissement, au début et à la fin du signal, peuvent être représentés par deux valeurs différentes.

1.21 Temps d'établissement relatif d'un signal télégraphique

Rapport du temps d'établissement d'un signal télégraphique défini au § 1.20 à la durée de l'impulsion à mi-amplitude.

2 Emission optimale du point de vue de l'économie du spectre

qu'une émission soit considérée comme optimale du point de vue de l'économie du spectre lorsque sa largeur de bande occupée est égale à la largeur de bande nécessaire pour sa classe d'émission et que l'enveloppe de son spectre hors bande s'inscrit dans la courbe de limitation appropriée spécifiée au § 3 pour diverses classes d'émission.

Pour faciliter le contrôle, on peut considérer comme optimale du point de vue de l'économie du spectre une émission dont la largeur de bande à x dB est dans un rapport donné avec la largeur de bande nécessaire pour sa classe d'émission; ce rapport est déterminé par la valeur du niveau x dB et par les paramètres de la courbe limitant le spectre hors bande (voir les exemples donnés dans l'Annexe 1).

En cas de partage, une largeur de bande optimale du point de vue de l'économie du spectre peut n'être pas optimale du point de vue de son efficacité d'emploi.

3 Limitation des spectres émis

que les administrations devraient s'efforcer, dans les moindres délais possibles, de limiter les spectres émis comme il est indiqué ci-dessous pour différentes classes d'émission.

NOTE 1 – La rapidité de modulation, B (Bd) figurant aux paragraphes ci-après relatifs aux émissions télégraphiques, est la vitesse maximale employée par l'émetteur correspondant. Si l'émetteur travaille à une vitesse inférieure à ce maximum, le temps d'établissement doit être augmenté de manière à rendre minimale la largeur de bande occupée, conformément aux prescriptions du numéro 307 (S3.9) du RR.

3.1 Classes d'émission A1A et A1B, en présence de fluctuations

En présence de variations importantes et à courte période du champ reçu, les spécifications données ci-dessous pour les émissions en télégraphie simplex à modulation d'amplitude en ondes entretenues (classe A1A et A1B), représentent des caractéristiques désirables qui peuvent être atteintes avec des émetteurs munis de filtres d'entrée convenables et comportant des amplificateurs suffisamment linéaires à la suite des étages où s'effectue la modulation.

3.1.1 Largeur de bande nécessaire

La largeur de bande nécessaire est égale à cinq fois la rapidité de modulation (Bd). Les composantes en limite de cette bande se situent à au moins 3 dB au-dessous du niveau des mêmes composantes du spectre représentant une suite de points rectangulaires et d'espaces égaux émis à la même rapidité de modulation.

Ce niveau relatif de -3 dB correspond à un niveau absolu de 27 dB au-dessous de la puissance moyenne de l'émission continue. (Se reporter à la Recommandation UIT-R SM.326, Tableau 1.)

3.1.2 Forme de l'enveloppe du spectre

L'amplitude de l'enveloppe du spectre par rapport à l'amplitude de l'émission continue est représentée sur la Fig. 3 en fonction de l'ordre des composantes de bande latérale, en admettant que l'enveloppe du signal RF soit un signal carré. Sur cette Figure, l'ordre n d'une composante de bande latérale est donné par la formule:

$$n = \frac{2f}{B} \quad (1)$$

où:

f : écart de fréquence par rapport au centre du spectre (Hz)

B : rapidité de modulation (Bd).

3.1.3 Largeur de bande occupée

La largeur de bande occupée, L (Hz) pour un rapport de puissance hors bande $\beta = 0,01$, peut se calculer au moyen de la formule empirique:

$$L = \left(\frac{1}{0,05 + \alpha} - 1 \right) B \quad (2)$$

où:

α : temps d'établissement relatif de l'impulsion la plus courte d'un signal télégraphique, tel qu'il est défini au § 1.21

B : rapidité de modulation (Bd).

La divergence entre les résultats obtenus au moyen de cette formule et ceux fournis par des calculs est au maximum de $2B$ lorsque $\alpha < 0,02$ et de B lorsque $\alpha \geq 0,02$, ce qui a aussi été confirmé par des mesures. L'équation (1) peut donc être utilisée pour mesurer indirectement la largeur de bande occupée des émissions A1A et A1B.

3.1.4 Spectre hors bande

Si on porte en abscisse la fréquence selon une échelle logarithmique et en ordonnée les densités de puissance (dB), la courbe représentant le spectre hors bande devra se trouver au-dessous de deux lignes droites partant du point $(+5 B/2, -27 \text{ dB})$ ou du point $(-5 B/2, -27 \text{ dB})$ mentionnés plus haut et présentant une pente de 30 dB/octave et aboutissant au point $(+5 B, -57 \text{ dB})$ ou $(-5 B, -57 \text{ dB})$, respectivement. A partir de là, la même courbe doit se trouver au-dessous du niveau -57 dB.

Les puissances hors bande tolérées, respectivement au-dessus et au-dessous des limites de la largeur de bande nécessaire, sont chacune approximativement égales à 0,5% de la puissance moyenne totale rayonnée.

3.1.5 Temps d'établissement du signal

Le temps d'établissement du signal émis dépend essentiellement de la forme du signal à l'entrée de l'émetteur, des caractéristiques du filtre auquel le signal est appliqué et des effets linéaires ou non linéaires qui peuvent se produire dans l'émetteur lui-même (en supposant que l'antenne n'ait pas d'influence sur la forme du signal). En première approximation, on peut admettre qu'à un spectre hors bande voisin de la courbe limite décrite au § 3.1.4 correspond un temps d'établissement de l'ordre de 20% de la durée initiale du point télégraphique, soit de l'ordre de $1/5 B$.

3.1.6 Brouillages causés dans les canaux adjacents

Le brouillage causé aux canaux adjacents dépend de nombreux paramètres et son calcul rigoureux est difficile. Toutefois, comme il n'est pas nécessaire de calculer ce brouillage avec une très grande précision, on peut faire usage utilement de formules semi-empiriques et de graphiques.

3.2 Classes d'émission A1A et A1B sans fluctuation

Pour la télégraphie à modulation d'amplitude en ondes entretenues, lorsque des variations à courte période du champ reçu n'affectent pas la qualité de la transmission, la largeur de bande nécessaire peut être réduite à trois fois la rapidité de modulation (Bd).

3.3 Mise en forme du signal télégraphique au moyen de filtres

Un bon moyen de réduire la largeur de bande occupée consiste à augmenter le temps d'établissement du signal télégraphique jusqu'à la valeur maximale compatible avec le bon fonctionnement de l'équipement de réception.

La valeur minimale du rapport T entre la bande passante à 6 dB de ces filtres et la moitié de la rapidité de modulation (Bd), dépend surtout des caractéristiques de synchronisation de l'équipement terminal du récepteur, de la stabilité de fréquence de l'émetteur et du récepteur et, dans le cas du trafic réel, des conditions de propagation. La valeur minimale peut aller de 2, lorsque la synchronisation et la stabilité sont extrêmement bonnes, jusqu'à 15, lorsque la dérive de fréquence est appréciable et que l'on utilise des téléimprimeurs.

Il serait préférable d'employer des filtres à suroscillation minimale pour utiliser pleinement la puissance de l'émetteur.

Le Tableau 2 donne, en fonction de T , le pourcentage de temps pendant lequel le signal télégraphique reste sensiblement plat à 1% près, pour un filtre à suroscillation minimale:

TABLEAU 2

$\frac{\text{Longueur du palier}}{\text{Longueur du signal}}$	0% (signal sinusoïdal)	50%	90%	100% (signal rectangulaire)
T	1,6	3,2	16	∞

Le rapport T étant déterminé au préalable, il peut être nécessaire d'utiliser un filtre ayant plusieurs cellules pour réduire suffisamment les composantes dans les parties extérieures du spectre.

3.4 Classes d'émission A2A et A2B

Pour les émissions en télégraphie simplex, dans lesquelles on manipule à la fois la porteuse et les oscillations modulantes, le taux de modulation pouvant atteindre 100% et la fréquence de modulation étant supérieure à la rapidité de modulation ($f > B$), les spécifications données ci-dessous représentent des caractéristiques désirables qui peuvent être atteintes avec des émetteurs munis de filtres d'entrée assez simples et comportant des étages sensiblement linéaires.

3.4.1 Largeur de bande nécessaire

La largeur de bande nécessaire est numériquement égale au double de la fréquence de modulation, f , augmenté de cinq fois la rapidité de modulation (Bd).

3.4.2 Spectre hors bande

Si on porte en abscisse la fréquence selon une échelle logarithmique et en ordonnée les densités de puissance (dB), la courbe représentant le spectre hors bande devra se trouver au-dessous de deux lignes droites partant du point $(+f + 5 B/2)$, -24 dB) ou du point $(-f + 5 B/2)$, -24 dB), présentant une pente de 12 dB/octave et aboutissant au point $(+f + 5 B)$, -36 dB) ou $(-f + 5 B)$, -36 dB), respectivement. A partir de là, la même courbe doit se trouver au-dessous du niveau -36 dB.

Le niveau de référence 0 dB correspond à la puissance de la porteuse en émission continue avec oscillation modulante.

Les puissances hors bande tolérées, respectivement au-dessus et au-dessous des limites de la largeur de bande nécessaire, sont chacune approximativement égales à 0,5% de la puissance moyenne totale rayonnée.

3.5 Emissions de radiotéléphonie à modulation d'amplitude, à l'exclusion des émissions de radiodiffusion sonore

La largeur de bande occupée et le rayonnement hors bande des émissions à modulation d'amplitude acheminant des signaux analogiques dépendent, à un degré variable, de plusieurs facteurs qui sont:

- le type de signal modulant;
- le niveau du signal d'entrée qui détermine la charge de l'émetteur;
- la bande passante qui est déterminée par les filtres utilisés dans les étages à fréquence acoustique, ainsi que dans les étages intermédiaires et final de modulation de l'émetteur;
- le niveau des composantes de distorsion harmonique et d'intermodulation aux fréquences du spectre hors bande.

Les limitations indiquées dans le présent paragraphe pour les spectres des émissions radiotéléphoniques ont été déduites de mesures faites par différentes méthodes. La puissance en crête de modulation de l'émetteur est d'abord déterminée suivant la méthode de la Recommandation UIT-R SM.326, § 3.1.3, l'émetteur étant réglé de façon à obtenir une distorsion acceptable pour le service considéré.

Des mesures ont été faites en employant plusieurs signaux modulateurs différents substitués aux deux oscillations à fréquence audible. On a constaté qu'un bruit blanc ou pondéré, de bande limitée par filtrage à la largeur de bande nécessaire à la transmission de l'information en exploitation normale, remplace le signal vocal de façon satisfaisante, pour l'exécution pratique des mesures.

Dans les courbes d'émission hors bande définies aux § 3.5.1 et 3.5.2, les ordonnées représentent l'énergie reçue par un récepteur de 3 kHz de largeur de bande dont la fréquence centrale est réglée sur la fréquence portée en abscisse, comparée à l'énergie reçue par le même récepteur quand il est accordé sur la fréquence centrale de la bande occupée.

Cependant, un récepteur de 3 kHz de largeur de bande ne peut donner d'informations assez détaillées dans la région du spectre proche des limites de la bande occupée. Des mesures point par point, avec un récepteur ayant une largeur de bande équivalente de 100 à 250 Hz, ou avec un analyseur de spectre dont le filtre a une largeur de bande analogue, se sont révélées plus utiles pour la détermination de la structure fine du spectre.

La caractéristique d'affaiblissement, en fonction de la fréquence, du filtre qui limite la largeur de bande de l'émetteur, doit être déterminée préalablement à ces mesures. On module alors l'émetteur par un bruit blanc ou pondéré de largeur de bande légèrement supérieure à celle de ce filtre.

Lorsqu'on applique le signal à l'entrée de l'émetteur, il faut éviter qu'à la sortie, les crêtes du signal n'excèdent la puissance de crête de l'émetteur ou un niveau correspondant à un taux de modulation de 100%, selon le cas, pendant plus d'un pourcentage faible et déterminé du temps. Ce pourcentage dépend de la classe d'émission (voir l'Annexe 4, § 1).

3.5.1 Emissions de la classe A3E, à deux bandes latérales, téléphonie

3.5.1.1 Largeur de bande nécessaire

La largeur de bande nécessaire F est pratiquement égale au double de la plus haute fréquence de modulation M que l'on désire transmettre avec un affaiblissement faible et défini.

3.5.1.2 Puissance dans la bande nécessaire

La distribution statistique de la puissance à l'intérieur de la bande nécessaire est déterminée par les niveaux relatifs des différentes composantes à fréquences vocales appliquées à l'entrée de l'émetteur. Si l'on utilise plusieurs voies téléphoniques, cette distribution est déterminée par le nombre de voies en service et par les niveaux relatifs des différentes composantes à fréquences vocales, appliquées à l'entrée de chaque voie.

Pour un émetteur qui ne comporte aucun dispositif de secret, on peut admettre que la distribution statistique de puissance des différentes composantes à fréquences vocales dans chacune des voies correspond à la courbe reproduite dans la Fig. 21. Cette courbe n'est pas applicable aux émetteurs de radiodiffusion sonore.

Si l'émetteur est employé avec un dispositif de secret à inversion de bande, on peut employer les mêmes données en faisant subir au spectre obtenu une inversion convenable.

Enfin, si un dispositif de secret à découpage de bande est employé, on peut considérer que la distribution statistique de la puissance est uniforme à l'intérieur de la bande.

3.5.1.3 Spectre hors bande

Si on porte en abscisse les fréquences selon une échelle logarithmique et en ordonnée les densités de puissance (dB), la courbe représentant le spectre hors bande devra se trouver au-dessous de deux droites partant du point $(+0,5 F, 0 \text{ dB})$, ou du point $(-0,5 F, 0 \text{ dB})$, et aboutissant au point $(+0,7 F, -20 \text{ dB})$ ou $(-0,7 F, -20 \text{ dB})$ respectivement. Au-delà de ces derniers points et jusqu'au niveau de -60 dB , cette courbe devra se trouver au-dessous de deux droites partant de ces derniers points, et ayant une pente de 12 dB/octave . Cette même courbe devra se trouver ensuite au-dessous du niveau de -60 dB .

Le niveau de référence 0 dB correspond à la densité de puissance qui existerait si la puissance totale, à l'exclusion de celle de la porteuse, était distribuée uniformément dans la bande passante nécessaire.

3.5.1.4 Relations entre le niveau de référence 0 dB pour déterminer le spectre hors bande et les niveaux d'autres composantes spectrales de l'émission

3.5.1.4.1 Relation entre le niveau de référence 0 dB et le niveau correspondant à la densité spectrale de puissance maximale

Le niveau de référence 0 dB défini au § 3.5.1.3 est inférieur d'environ 5 dB au niveau correspondant à la densité de puissance maximale dans chaque bande latérale lorsque l'émetteur est modulé par du bruit blanc pondéré conformément à la courbe dont il est question au § 3.5.1.2 et qui est représentée dans l'Annexe 2.

La valeur de 5 dB est valable pour une largeur de bande de fréquences de modulation ayant une limite de fréquence supérieure de 3 kHz ou $3,4 \text{ kHz}$.

3.5.1.4.2 Relation entre le niveau de référence 0 dB et le niveau de la porteuse

Le rapport α_B (dB), entre le niveau de référence 0 dB et le niveau de la porteuse est donné par la formule:

$$\alpha_B = 10 \log \left(\frac{m_{eff}^2}{2} \frac{B_{\acute{e}qui}}{F} \right) \quad (3)$$

où:

m_{eff} : taux de modulation efficace de l'émetteur

$B_{\acute{e}qui}$: largeur de bande équivalente de bruit de l'analyseur

F : largeur de bande nécessaire pour l'émission.

Le niveau de référence est donc fonction:

- de la puissance de la bande latérale P_s donnée par la formule:

$$P_s = \frac{m_{eff}^2}{2} P_c \quad (4)$$

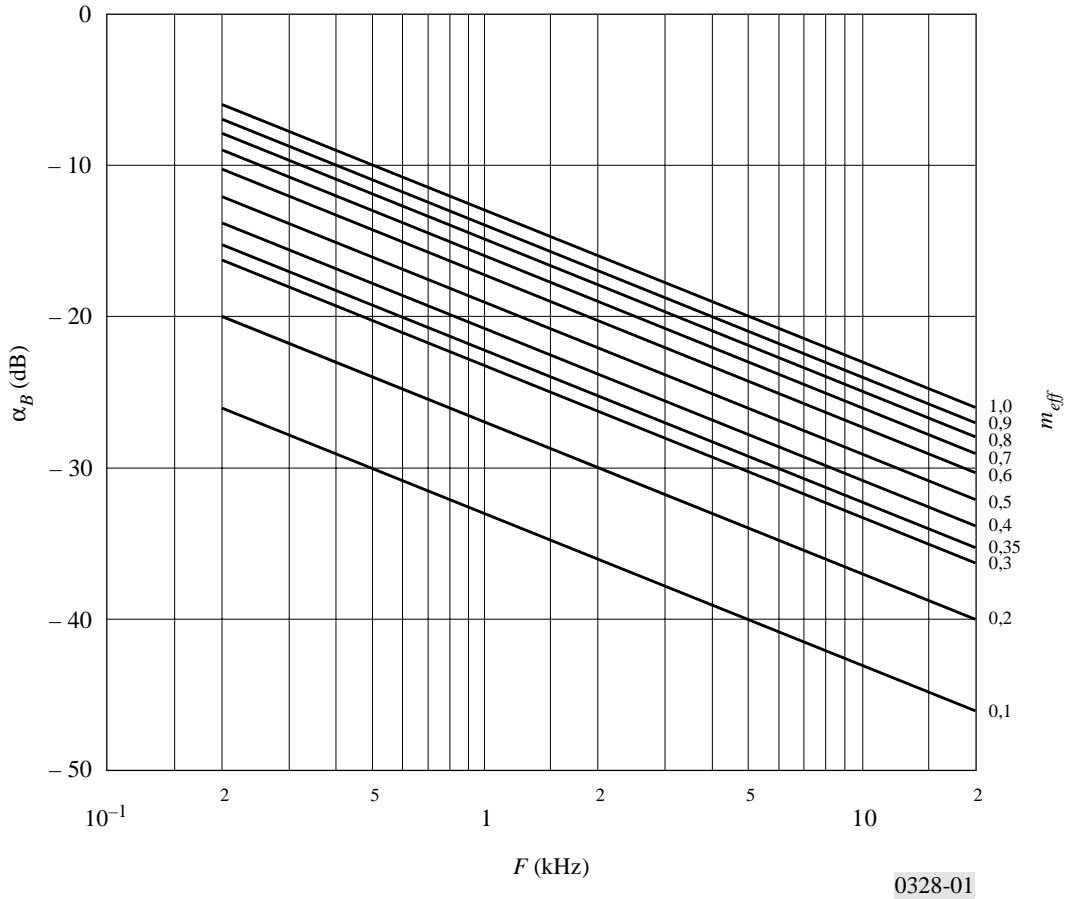
où P_c est la puissance de la porteuse;

- de la largeur de bande nécessaire F ;
- de la largeur de bande équivalente de bruit $B_{\acute{e}qui}$ de l'analyseur employé.

La Fig. 1 représente le rapport α_B calculé au moyen de la formule (3) en fonction de la largeur de bande nécessaire, pour différentes valeurs du taux de modulation efficace.

FIGURE 1

Rapport α_B (dB), entre le niveau de référence 0 dB de la courbe de limitation du spectre hors bande, dans le cas de la classe d'émission A3E et le niveau de la porteuse, en fonction de la largeur de bande nécessaire F (kHz) pour une largeur de bande équivalente de bruit de l'analyseur de 100 Hz et avec, en paramètre, le taux de modulation efficace de l'émetteur (m_{eff})



Pour certaines applications pratiques, par exemple dans les stations de contrôle, on peut admettre un taux de modulation efficace de l'émetteur de 35% dans les cas où le taux de modulation réel ne peut être déterminé avec précision. On peut donc simplifier la formule (3) comme suit:

$$\alpha_B = 10 \log \left(\frac{B_{\text{équi}}}{F} \right) - 12,1 \tag{5}$$

La Fig. 2 montre le rapport α_B calculé à partir de la formule simplifiée (5) en fonction de la largeur de bande nécessaire pour différentes valeurs de la largeur de bande équivalente de bruit.

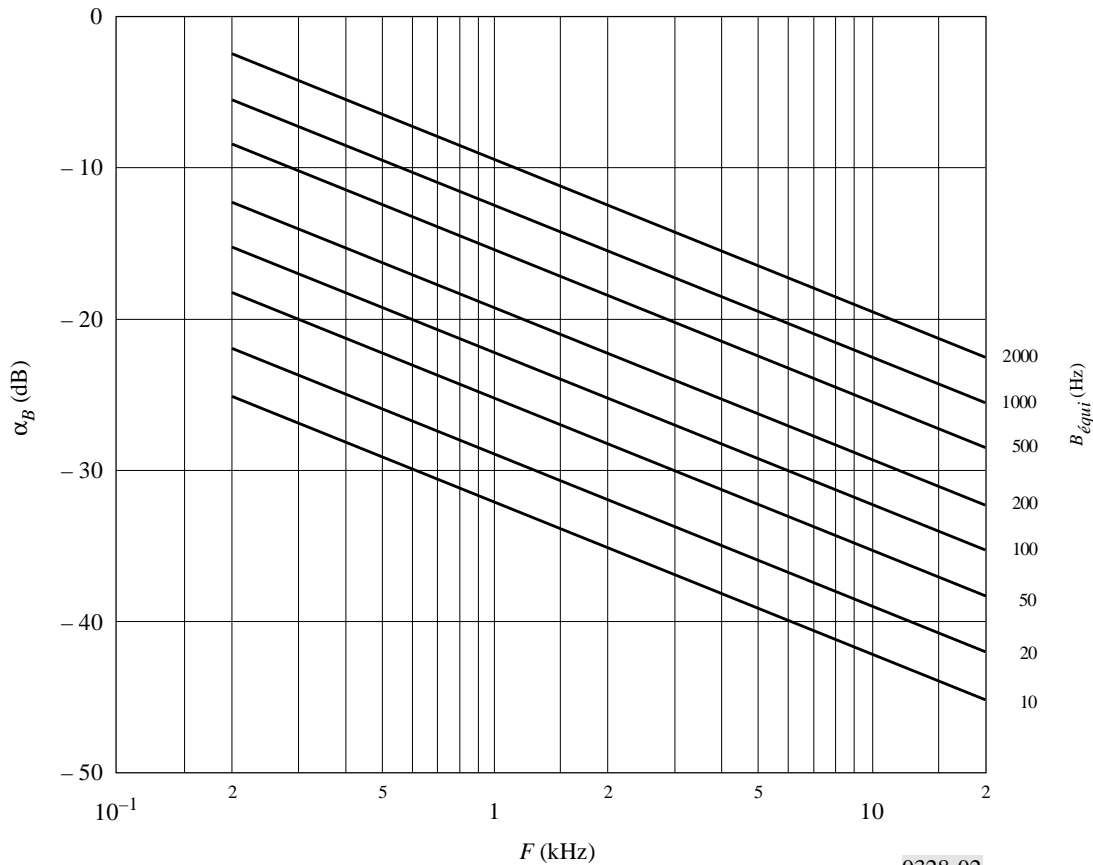
3.5.2 Emissions à bande latérale unique des classes R3E, H3E et J3E (onde porteuse réduite, complète ou supprimée) et à bandes latérales indépendantes de la classe B8E

3.5.2.1 Largeur de bande nécessaire

3.5.2.1.1 Dans le cas des émissions R3E et H3E, la largeur de bande nécessaire F est pratiquement égale à la valeur de la plus haute fréquence acoustique f_2 que l'on désire transmettre avec un affaiblissement faible et défini.

FIGURE 2

Rapport α_B (dB), entre le niveau de référence 0 dB de la courbe de limitation du spectre hors bande, dans le cas de la classe d'émission A3E et le niveau de la porteuse, en fonction de la largeur de bande nécessaire F (kHz) pour un taux de modulation efficace de 35% et avec, en paramètre, la largeur de bande équivalente de bruit de l'analyseur ($B_{\text{équi}}$)



3.5.2.1.2 Dans le cas des émissions J3E, la largeur de bande nécessaire F est pratiquement égale à la différence de la plus haute f_2 et de la plus basse f_1 des fréquences acoustiques que l'on désire transmettre avec un affaiblissement faible et défini.

3.5.2.1.3 Dans le cas des émissions B8E, la largeur de bande nécessaire F est pratiquement égale à la différence des deux fréquences radioélectriques les plus éloignées de la fréquence assignée qui correspondent aux deux fréquences acoustiques extrêmes que l'on désire transmettre avec un affaiblissement faible et défini dans les deux voies extérieures de l'émission.

3.5.2.2 Puissance dans la bande nécessaire

Pour les considérations relatives à la puissance dans la bande nécessaire, voir le § 3.5.1.2.

3.5.2.3 Spectre hors bande pour les émissions de classe B8E; quatre voies téléphoniques en service simultanément

La puissance hors bande dépend du nombre et de la position des voies en service. Les courbes décrites ci-après correspondent uniquement au cas où quatre voies téléphoniques sont en service simultanément. Lorsque certaines voies sont inutilisées, la puissance hors bande est moindre.

Si on emploie en abscisse une échelle logarithmique de fréquences, la fréquence zéro étant supposée coïncider avec le centre de la bande nécessaire, et en ordonnée une échelle linéaire (dB) pour les densités de puissance, la courbe représentant le spectre hors bande devra se trouver au-dessous de deux droites partant, respectivement, du point $(+0,5 F, 0 \text{ dB})$ ou du point $(-0,5 F, 0 \text{ dB})$ et aboutissant respectivement au point $(+0,7 F, -30 \text{ dB})$ ou au point $(-0,7 F, -30 \text{ dB})$. Au-delà de ces derniers points, et jusqu'au niveau -60 dB , cette courbe devra se trouver au-dessous de deux droites partant de ces derniers points et ayant une pente de 12 dB/octave . Cette même courbe devra se trouver, ensuite, au-dessous du niveau de -60 dB .

Le niveau de référence 0 dB correspond à la densité de puissance qui existerait si la puissance totale, à l'exclusion de celle de la porteuse, était distribuée uniformément dans la bande passante nécessaire.

3.6 Emissions de radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude

Les limites du spectre, données dans ce paragraphe pour les émissions de radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude, ont été établies d'après des mesures effectuées sur des émetteurs qui étaient modulés par un bruit pondéré avec un taux de modulation de 35% (valeur efficace) en l'absence de toute compression dynamique de l'amplitude du signal (voir l'Annexe 4, § 2).

3.6.1 Emissions de radiodiffusion sonore de la classe A3E, à deux bandes latérales

3.6.1.1 Largeur de bande nécessaire

La largeur de bande nécessaire F est pratiquement égale au double de la plus haute fréquence de modulation M que l'on désire transmettre avec un affaiblissement faible et défini.

3.6.1.2 Puissance dans la bande nécessaire

La distribution statistique de la puissance à l'intérieur de la bande nécessaire est déterminée par les niveaux relatifs des différentes composantes à fréquences acoustiques appliquées à l'entrée de l'émetteur.

On peut admettre que la répartition de la puissance dans la bande à fréquences acoustiques d'un programme courant de radiodiffusion peut correspondre aux courbes reproduites dans la Fig. 23. Dans la pratique, ces courbes ne sont pas dépassées pendant plus de 5% à 10% du temps de transmission du programme.

3.6.1.3 Spectre hors bande

Si on porte en abscisse les fréquences selon une échelle logarithmique et en ordonnée les densités de puissance (dB), la courbe représentant le spectre hors bande devra se trouver au-dessous de deux droites partant du point $(+0,5 F, 0 \text{ dB})$ ou du point $(-0,5 F, 0 \text{ dB})$ et aboutissant au point $(+0,7 F, -35 \text{ dB})$ ou $(-0,7 F, -35 \text{ dB})$ respectivement. Au-delà de ces derniers points et jusqu'au niveau de -60 dB , cette courbe devra se trouver au-dessous de deux droites partant de ces derniers points et ayant une pente de 12 dB/octave . Cette même courbe devra se trouver ensuite au-dessous du niveau de -60 dB .

Le niveau de référence 0 dB correspond à la densité de puissance qui existerait si la puissance totale, à l'exclusion de celle de la porteuse, était distribuée uniformément dans la bande passante nécessaire (voir le § 3.6.1.4).

Pour la courbe ainsi définie, l'ordonnée représente la puissance moyenne interceptée par un analyseur avec une largeur de bande effective globale de bruit de 100 Hz et dont la fréquence centrale est égale à la valeur portée en abscisse.

3.6.1.4 Relation entre le niveau de référence 0 dB pour déterminer le spectre hors bande et le niveau d'autres composantes spectrales de l'émission

3.6.1.4.1 Relation entre le niveau de référence 0 dB et le niveau correspondant à la densité de puissance spectrale maximale

Le niveau de référence 0 dB défini au § 3.6.1.3 est inférieur de 8 à 10 dB au niveau correspondant à la densité de puissance maximale dans l'une ou l'autre des bandes latérales lorsque l'émetteur est modulé par du bruit blanc pondéré conformément aux courbes dont il est question au § 3.6.1.2.

La valeur de 8 dB est valable pour une largeur de bande de fréquences de modulation ayant une limite de fréquence supérieure de 4,5 ou 6 kHz. La valeur de 10 dB est applicable pour une limite supérieure de fréquence de 10 kHz.

3.6.1.4.2 Relation entre le niveau de référence 0 dB et le niveau de la porteuse

Voir le § 3.5.1.4.2, qui est également applicable au cas de la radiodiffusion sonore.

3.6.2 Emissions de radiodiffusion sonore de la classe J3E, à bande latérale unique

Voir le RR, Appendice 45 (S.11), Partie B (radiodiffusion à ondes décimétriques).

3.7 Emissions de la classe F1B

Pour la télégraphie à déplacement de fréquence, classe F1B, en présence ou en l'absence de fluctuations dues à la propagation:

3.7.1 Largeur de bande nécessaire

Le déplacement de fréquence, ou différence entre les fréquences de travail et de repos, étant représenté par $2D$, et l'indice de modulation $2D/B$ par m , la largeur de bande nécessaire est donnée par les formules suivantes, à choisir suivant la valeur de m :

$$\begin{aligned} 2,6 D + 0,55 B & \quad \text{pour } 1,5 < m < 5,5 \text{ à mieux que } 10\% \text{ près} \\ 2,1 D + 1,9 B & \quad \text{pour } 5,5 \leq m \leq 20 \text{ à mieux que } 2\% \text{ près.} \end{aligned}$$

3.7.2 Forme de l'enveloppe du spectre

La forme du spectre RF pour la classe d'émission F1B est décrite aux § 3.7.2.1 à 3.7.2.3 ci-après pour diverses formes du signal télégraphique.

3.7.2.1 Signal télégraphique composé d'inversions avec un temps d'établissement nul

L'amplitude de l'enveloppe spectrale par rapport à l'amplitude de l'émission continue, $A(n)$, est représentée sur la Fig. 3 (en traits pleins) en fonction de l'ordre des composantes de bande latérale pour un signal télégraphique composé d'inversions avec un temps d'établissement nul et la même durée pour les temps de travail et de repos.

On obtient une approximation des parties linéaires ou asymptotiques des courbes en trait plein de la Fig. 3 à l'aide de la formule:

$$A(n) = \frac{2m}{\pi n^2} \quad (6)$$

où:

n : ordre de la composante de bande latérale

$$n = 2f/B$$

f : écart de fréquence par rapport au centre du spectre (Hz)

B : rapidité de modulation (Bd)

m : indice de modulation

$$m = 2 D/B$$

D : excursion de fréquence de crête ou demi-déplacement de fréquence (Hz).

3.7.2.2 Signaux télégraphiques périodiques avec temps d'établissement non nul

L'amplitude $A(x)$ de l'enveloppe spectrale produite par un signal télégraphique composé d'inversions avec un temps d'établissement fini et une même durée pour les temps de travail et de repos est donnée par la formule empirique ci-après:

$$A(x) = E \frac{2}{\pi} \frac{1}{m} x^{-u} (x^2 - 1)^{-1} \quad \text{pour } x > 1 \quad (7)$$

où:

$$x = f/D$$

E : amplitude de l'émission continue

$$u = \sqrt{5 D \tau}$$

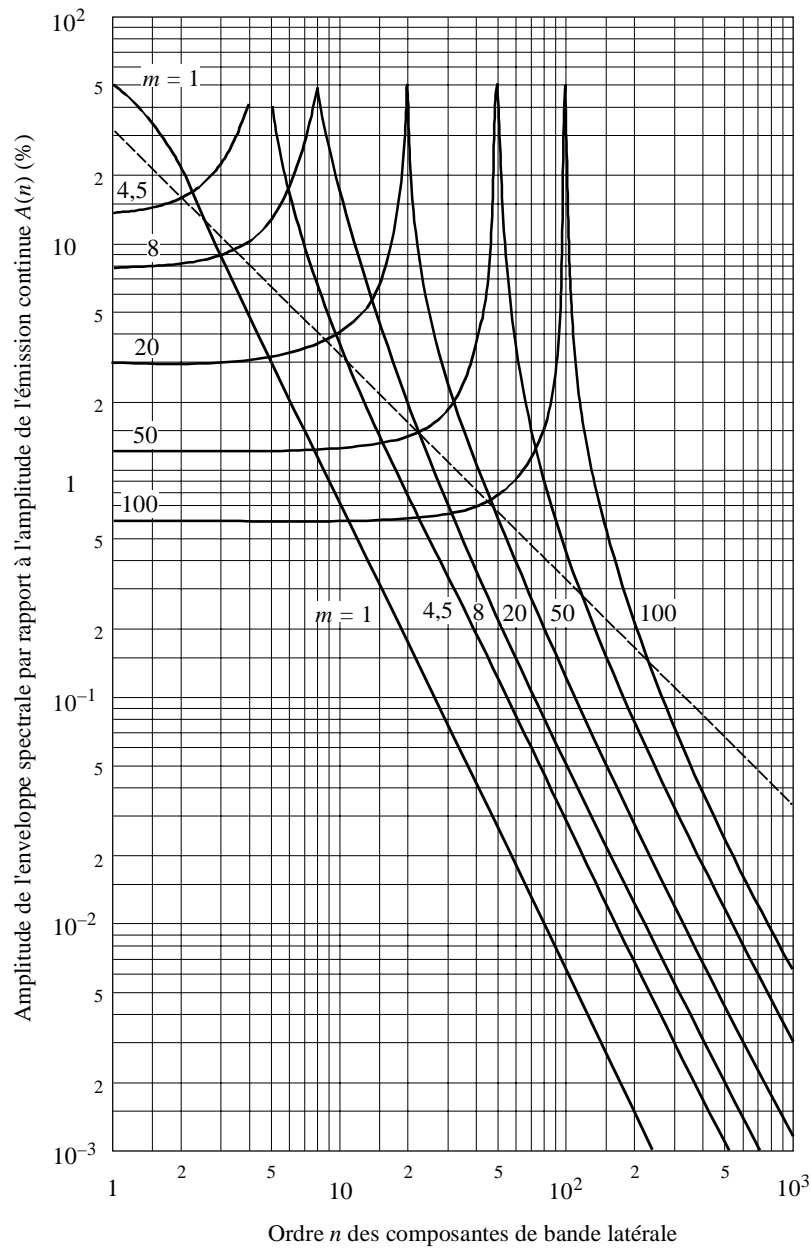
τ : temps d'établissement (s) du signal télégraphique, tel que défini au § 1.20

f , D et m : comme défini plus haut, au § 3.7.2.1.

La formule (7) montre que la forme de l'enveloppe du spectre dépend uniquement du produit $D \tau$ et que, pour une valeur donnée de ce produit, l'amplitude $A(x)$ de l'enveloppe est inversement proportionnelle à l'indice de modulation m . Voir la Fig. 4 où le produit $m A(x)$ est représenté en fonction de x pour diverses valeurs de $D \tau$.

FIGURE 3

Enveloppes des spectres, RF pour un signal télégraphique composé d'inversions



m : indice de modulation
 — Classe d'émission F1B
 - - - Classes d'émission A1A et A1B

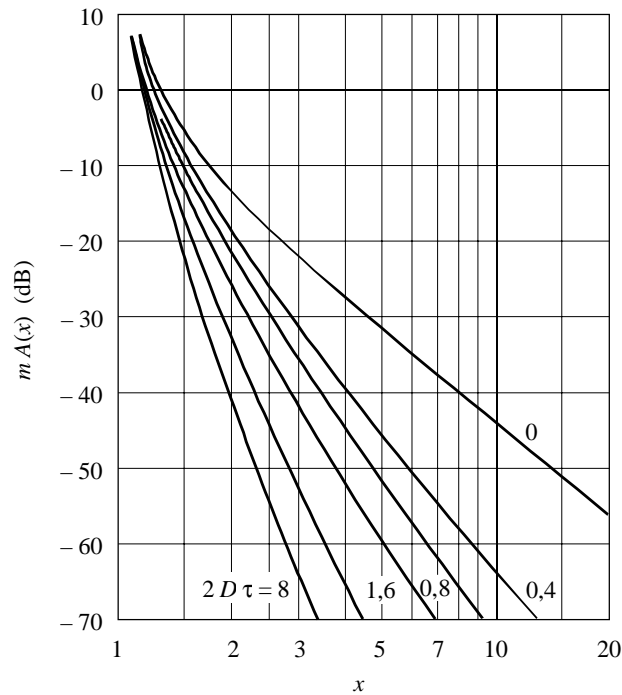
0328-03

Il a été démontré que l'effet du temps d'établissement sur la forme de l'enveloppe du spectre est peu important pour des valeurs de $D \tau$ inférieures à 0,15 ou situées entre 1 et 5. Lorsque les temps de travail et de repos n'ont pas la même durée, la forme de l'enveloppe du spectre dépend surtout du produit $D \tau$ par la durée de l'élément de signal le plus court, mais est toujours la même que celle produite par un signal composé d'inversions ayant le même temps d'établissement.

Sur la Fig. 5, les résultats de mesures faites sur divers spectres sont comparés avec les valeurs correspondantes calculées au moyen de la formule (7). L'accord est assez bon pour les valeurs de x supérieures à 1,2, mais il est moins bon pour des valeurs inférieures du produit $D \tau$.

FIGURE 4

Distribution spectrale des émissions de classe F1B
calculée par la formule empirique (7)



0328-04

3.7.2.3 Signal télégraphique apériodique avec temps d'établissement non nul

Lorsque le signal est apériodique, comme ce peut être le cas dans des conditions de trafic réel, la distribution spectrale devrait être représentée sous la forme d'un spectre de densité de puissance.

La densité de puissance moyenne par unité de largeur de bande, $p(x)$, s'obtient par la formule empirique:

$$p(x) = \frac{P_0}{B} \frac{4}{\pi^2} \frac{1}{m^2} x^{-2u} (x^2 - 1)^{-2} \quad (8)$$

où:

P_0 : puissance totale d'émission

B, m, x et u : définis aux § 3.7.2.1 et 3.7.2.2.

Dans ce cas également, la forme de l'enveloppe du spectre dépend uniquement du produit du déplacement de fréquence par le temps d'établissement.

3.7.3 Largeur de bande occupée et puissance hors bande

On obtient la puissance hors bande, P' , telle qu'elle est définie au § 1.11 en intégrant la densité de puissance donnée par la formule (8) entre deux limites de fréquence.

La Fig. 6 montre les valeurs de la largeur de bande L calculées en fonction de m et $2D\tau$, pour $\beta = 0,01$ et $\beta = 0,001$, β étant le rapport des puissances hors bande P'/P_0 .

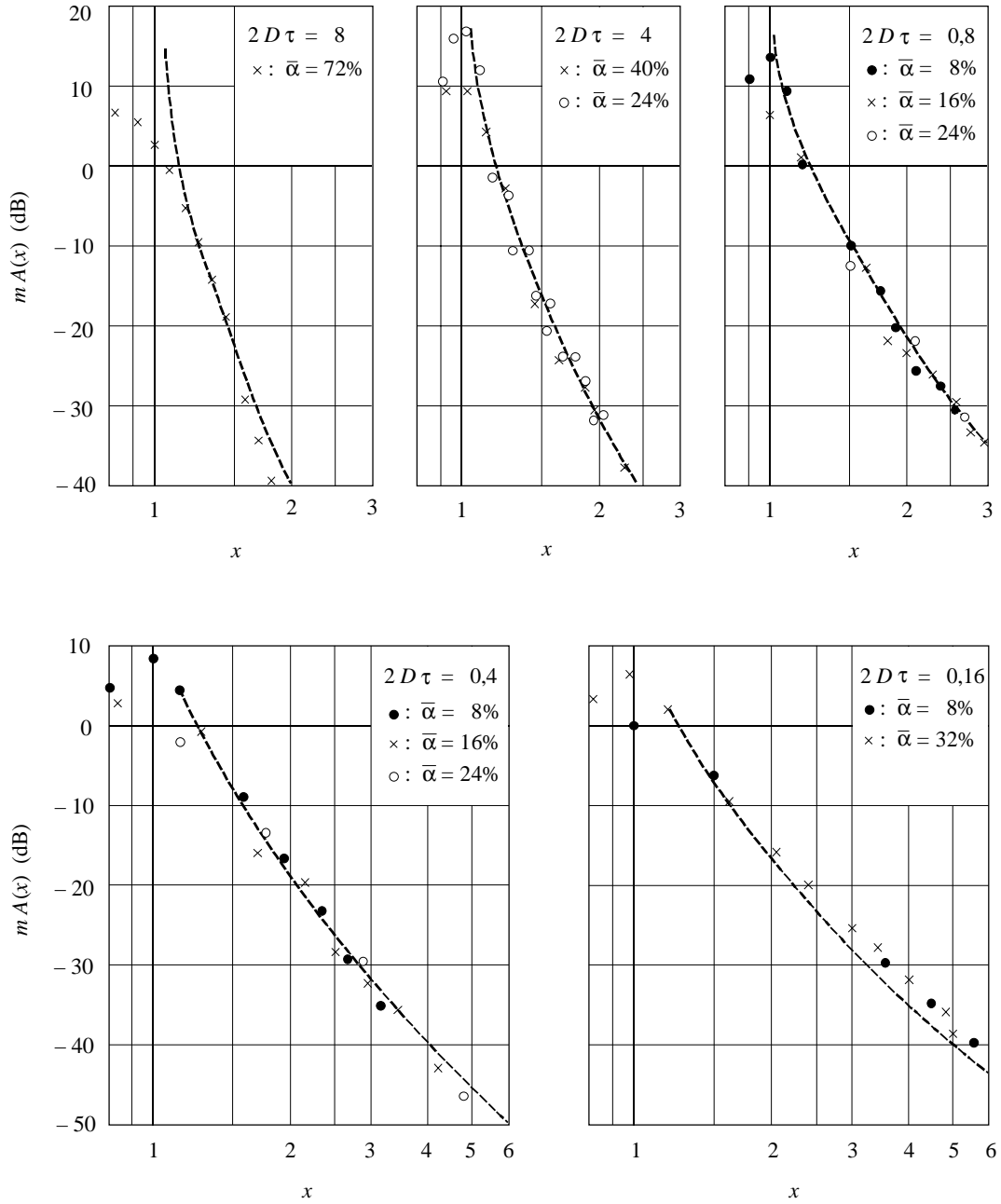
La largeur de bande occupée L (Hz), pour $\beta = 0,01$ peut aussi être calculée au moyen de la formule empirique:

$$L = 2D + D \left(3 - 4\sqrt{\bar{\alpha}} \right) m^{-0,6} \quad (9)$$

où $\bar{\alpha}$ est le temps d'établissement relatif de l'impulsion la plus courte du signal télégraphique, tel que défini au § 1.21.

La largeur de bande ainsi calculée ne dépend guère de la forme du signal télégraphique, alors que le spectre hors bande en dépend beaucoup.

FIGURE 5
Spectre des émissions de classe F1B



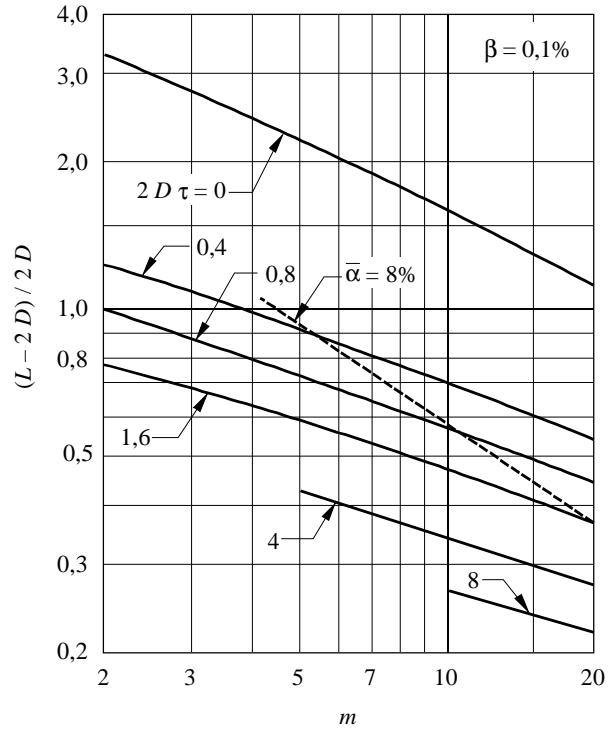
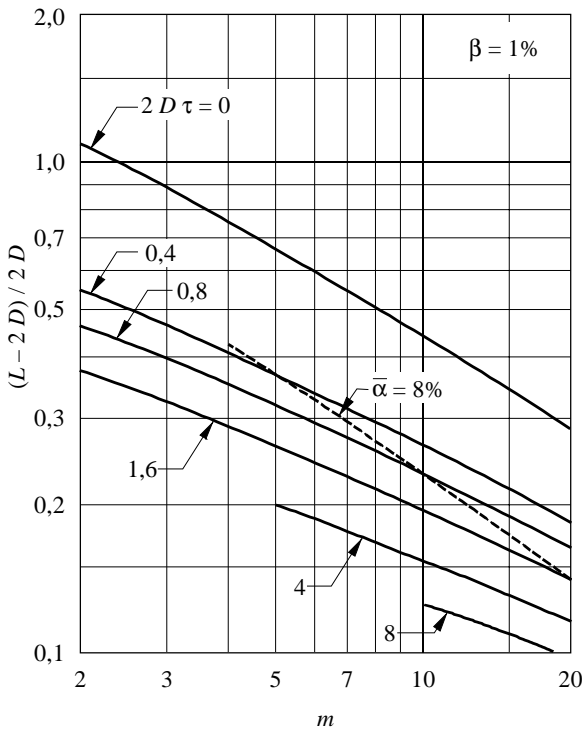
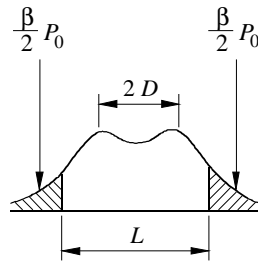
----- Calculé par la formule empirique (7)

● ○ × Valeurs mesurées

$\bar{\alpha}$: temps d'établissement relatif (%)

FIGURE 6

Largeur de bande calculée par la formule empirique (8)



0328-06

Les écarts maximaux entre les résultats donnés par la formule (9) et ceux obtenus par un calcul exact sont les suivants:

3% pour $\bar{\alpha} = 0$; $2 \leq m \leq 20$

9% pour $\bar{\alpha} = 0,08$; $1,4 \leq m \leq 20$

10% pour $\bar{\alpha} = 0,24$; $2 \leq m \leq 20$.

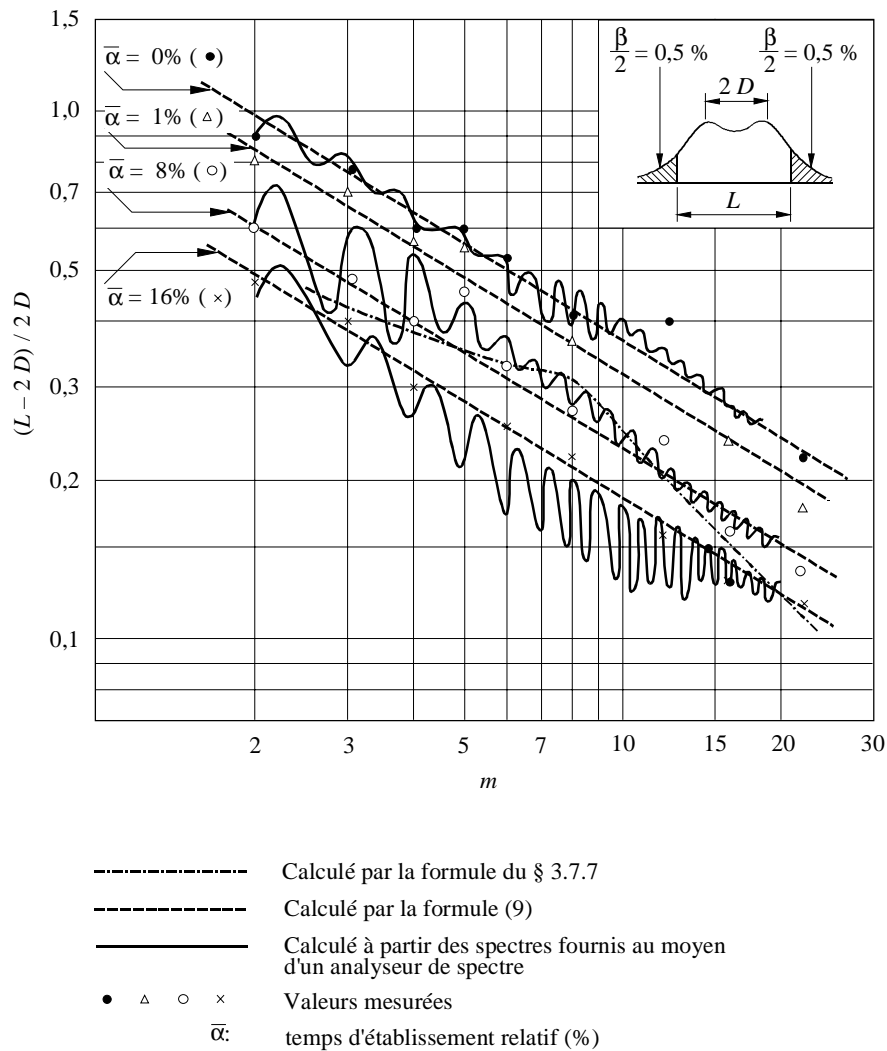
Ceci donne les limites dans lesquelles la formule (9) peut être utilisée avec une précision raisonnable. Les pourcentages indiqués s'appliquent à la limite inférieure de m . Plus la limite est élevée, plus ils sont petits.

Enfin, la Fig. 7 montre les résultats de calculs et de mesures de la largeur de bande occupée à l'aide de différentes méthodes.

3.7.4 Mise en forme du signal télégraphique au moyen de filtres

Voir le § 3.3. Toutefois, l'emploi de filtres à suroscillation minimale n'est pas indispensable lorsque l'émetteur doit fonctionner à plus de deux fréquences, par exemple, dans le cas d'un duplex à quatre fréquences.

FIGURE 7
 Comparaison entre les résultats des calculs et les mesures
 de la largeur de bande occupée



0328-07

3.7.5 Brouillages causés dans les canaux adjacents

Voir le § 3.1.6.

3.7.6 Temps d'établissement du signal

A un spectre hors bande très voisin de la courbe limite décrite au § 3.7.8, correspond un temps d'établissement du signal égal à environ 8% de la durée initiale du point télégraphique, soit environ $1/12 B$, pourvu qu'un filtre convenable soit employé pour l'arrondissement du signal.

3.7.7 Largeur de bande occupée si le signal n'est pas arrondi

Pour la seule comparaison avec les formules au § 3.7.1, on peut indiquer que, pour une suite de signaux de travail et de repos égaux et rectangulaires (temps d'établissement nul), la largeur de bande occupée est donnée par les formules suivantes:

$$2,6 D + 1,4 B \quad \text{pour } 2 \leq m \leq 8 \text{ à mieux que } 2\% \text{ près}$$

$$2,2 D + 3,1 B \quad \text{pour } 8 \leq m \leq 20 \text{ à mieux que } 2\% \text{ près.}$$

3.7.8 Spectre hors bande

Si on porte en abscisse la fréquence selon une échelle logarithmique et en ordonnée les densités de puissance (dB), la courbe représentant le spectre hors bande devra se trouver au-dessous des deux lignes droites de pente constante (dB/octave), partant de deux points situés aux fréquences limites de la bande nécessaire et aboutissant au niveau -60 dB. A partir de là, la même courbe doit se trouver au-dessous du niveau -60 dB. Les ordonnées de départ des deux lignes droites, ainsi que leurs pentes sont données par le Tableau 3, en fonction de l'indice de modulation m .

TABLEAU 3

Indice de modulation	Niveau de départ (dB)	Pente (dB/octave)
$1,5 \leq m < 6$	-15	$13 + 1,8 m$
$6 \leq m < 8$	-18	$19 + 0,8 m$
$8 \leq m \leq 20$	-20	$19 + 0,8 m$

Le niveau de référence, 0 dB, correspond à la puissance moyenne de l'émission.

Les puissances hors bande tolérées, respectivement au-dessus et au-dessous des limites de la largeur de bande nécessaire, sont chacune approximativement égales à 0,5% de la puissance moyenne totale rayonnée.

Pour les indices de modulation $0,5 \leq m \leq 1,5$, la courbe représentant le spectre hors bande devra se trouver au-dessous des points dont les coordonnées sont données au Tableau 4.

TABLEAU 4

Formules permettant de calculer B_x aux niveaux X (dB)				
-20	-30	-40	-50	-60
$3 \sqrt{m} \cdot B$	$4,1 \sqrt{m} \cdot B$	$5,8 \sqrt{m} \cdot B$	$8,1 \sqrt{m} \cdot B$	$11 \sqrt{m} \cdot B$

m : indice de modulation

B : rapidité de modulation.

Pour chaque point situé sur la courbe limite du spectre, l'abscisse correspond à la largeur de bande relative $\pm B_x/2 B$ et l'ordonnée au niveau relatif X . Le niveau de référence 0 dB correspond au niveau de la porteuse non modulée.

3.8 Emissions en modulation de fréquence pour la radiodiffusion sonore

3.8.1 Classe d'émission F3E, radiodiffusion sonore monophonique

3.8.1.1 Largeur de bande nécessaire

La largeur de bande nécessaire peut être calculée par la formule donnée dans la Recommandation UIT-R SM.1138:

$$B_n = 2M + 2DK \quad (10)$$

où:

B_n : largeur de bande nécessaire

M : fréquence de modulation la plus élevée

D : excursion maximale de la porteuse RF

K : facteur égal à 1 si l'hypothèse $D \gg M$ est satisfaite.

3.8.1.2 Spectre hors bande des émissions de classe F3E modulées par du bruit

La courbe représentant le spectre hors bande devra se trouver au-dessous des points dont les coordonnées sont données dans le Tableau 5.

TABLEAU 5

Formules permettant de calculer B_x aux niveaux X (dB)					Modulation équivalente indice m'
-20	-30	-40	-50	-60	
$6 m' M$	$(6,7 m' + 2) M$	$(7,8 m' + 3) M$	$(8,4 m' + 4,4) M$	$(9 m' + 6) M$	$0,5 \leq m' \leq 1,3$
$6 m' M$	$(7 m' + 2) M$	$(7,8 m' + 4) M$	$(8,4 m' + 6) M$	$(8,8 m' + 8) M$	$m' > 1,3$

$m' = D/pM$: indice de modulation équivalente

D : excursion de fréquence crête

p : facteur crête

M : fréquence de modulation maximale.

Pour chaque point situé sur la courbe limite du spectre, l'abscisse correspond à la largeur de bande relative $\pm B_x/2M$ et l'ordonnée au niveau relatif X . Le niveau de référence 0 dB correspond au niveau maximal de densité spectrale de puissance dans une bande latérale.

3.8.2 Classes d'émission F8E et F9E, radiodiffusion sonore stéréophonique

3.8.2.1 Largeur de bande nécessaire

Etant donné qu'en général l'hypothèse $D \gg M$ n'est pas satisfaite et que l'on ne dispose pas d'informations suffisantes pour la détermination du facteur K , la formule donnée au § 3.8.1.1 peut servir de guide.

Les résultats de mesure ont montré que la largeur de bande RF des émissions de radiodiffusion sonore stéréophonique en modulation de fréquence est inférieure aux valeurs calculées que donne la formule avec $K = 1$.

On ne dispose pas d'informations suffisantes pour permettre l'établissement d'une formule fiable et il est souhaitable, pour des raisons de simplicité et d'uniformité internationale, que les mesures visant à déterminer la largeur de bande nécessaire soient faites aussi rarement que possible.

Cependant, pour le moment, il convient que la largeur de bande nécessaire pour les émissions F8E et F9E soit déterminée par des mesures, étant entendu qu'il convient de spécifier des normes d'émission et de qualité.

3.9 Émissions multivoies modulées en fréquence par un signal multiplex à répartition de fréquence

Le signal de sortie d'un émetteur multivoies modulé en fréquence par un signal multiplex à répartition de fréquence peut être simulé par un signal modulé en fréquence par un bruit blanc. Cette simulation peut également s'appliquer au signal de sortie d'un émetteur à nombre de voies limité, en cas d'utilisation dans chacune des voies de dispositifs de secret à découpage de bande.

Il est malaisé cependant de procéder à une analyse théorique du spectre d'un tel signal, sauf si l'excursion de fréquence est ou très importante ou très faible par rapport à la fréquence maximale du bruit blanc à largeur de bande limitée.

Toutefois, des émissions dont les indices de modulation sont compris entre les limites indiquées ci-dessus présentent un grand intérêt pour les systèmes réels de communications.

3.9.1 Largeur de bande nécessaire

Voir la Recommandation UIT-R SM.853, § 1: largeur de bande nécessaire, émissions multivoies MRF-MF.

3.9.2 Forme de l'enveloppe du spectre

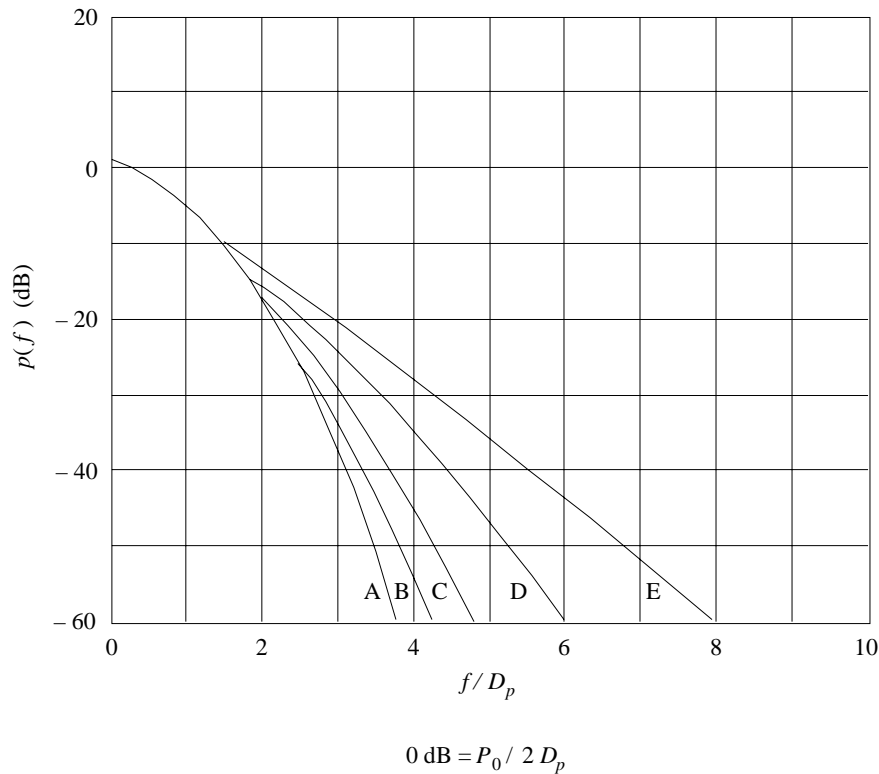
Pour de fortes valeurs de l'excursion de fréquence, l'enveloppe du spectre peut être calculée au moyen de la formule suivante:

$$p(f) = \frac{2}{\sqrt{2}} (P_0 / 2 D_p) e^{-(f/D_p)^2} \quad (11)$$

Des mesures ont été faites en vue de trouver une formule empirique pouvant être appliquée aux valeurs médianes de l'excursion de fréquence. La formule empirique peut être considérée comme une extension de la formule (11). Les courbes obtenues au moyen de la formule empirique sont reproduites sur la Fig. 8.

FIGURE 8

Distribution de la puissance du spectre pour $D_p/M > 0,5$



- Courbes A: $D_p / M > 2,5$
 B: $D_p / M = 1,8$
 C: $D_p / M = 1,0$
 D: $D_p / M = 0,7$
 E: $D_p / M = 0,5$

Symboles utilisés dans les Fig. 8 à 12:

- M : fréquence maximale du bruit blanc à largeur de bande limitée
 D_0 : valeur efficace de l'excursion de fréquence, c'est-à-dire valeur efficace de la différence entre la fréquence instantanée et sa moyenne arithmétique
 $D_p = D_0 \sqrt{2}$: excursion de fréquence de crête lorsque le signal de bruit blanc modulant est remplacé par un signal sinusoïdal de même puissance
 f : écart de fréquence par rapport au centre du spectre
 P_0 : puissance totale de l'émission
 P' : puissance à l'extérieur de l'intervalle $(-f, +f)$ du spectre, c'est-à-dire puissance hors bande
 β : rapport de puissance hors bande P'/P_0 comme indiqué au § 1.12
 $p(f)$: densité de puissance du spectre à la fréquence f

Pour de faibles valeurs de l'excursion de fréquence, la distribution de la densité de puissance peut être calculée à partir de l'équation (12):

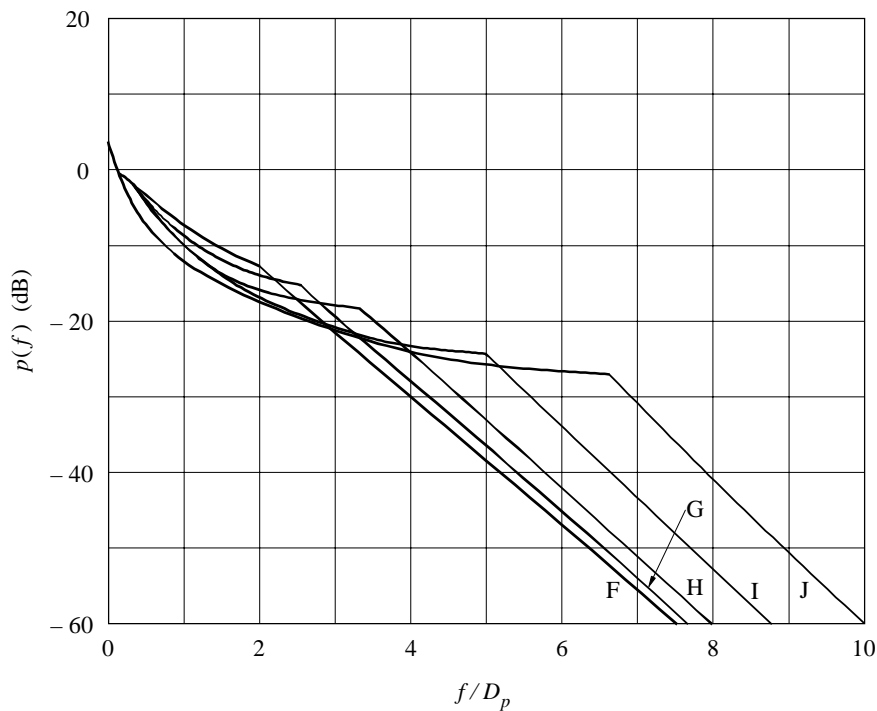
$$p(f) = \frac{1}{2} (P_0 / 2 D_p) (D_p / M) \left[\frac{1}{(\pi^2 / 16) (D_p / M)^2 + (f / D_p)^2} \right] \quad (12)$$

Toutefois, cette formule n'est valable que pour la partie du spectre comprise entre les limites définies par plus et moins la fréquence maximale du signal de bruit.

Des mesures ont montré qu'au-delà de ces limites, le spectre décroît de façon presque linéaire. La pente du spectre a été calculée et elle a servi à compléter les courbes représentant la distribution du spectre (voir la Fig. 9).

FIGURE 9

Distribution de la puissance du spectre pour $D_p / M < 0,5$



Courbes F: $D_p / M = 0,5$
 G: $D_p / M = 0,4$
 H: $D_p / M = 0,3$
 I: $D_p / M = 0,2$
 J: $D_p / M = 0,15$

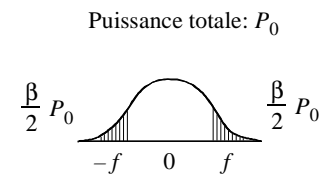
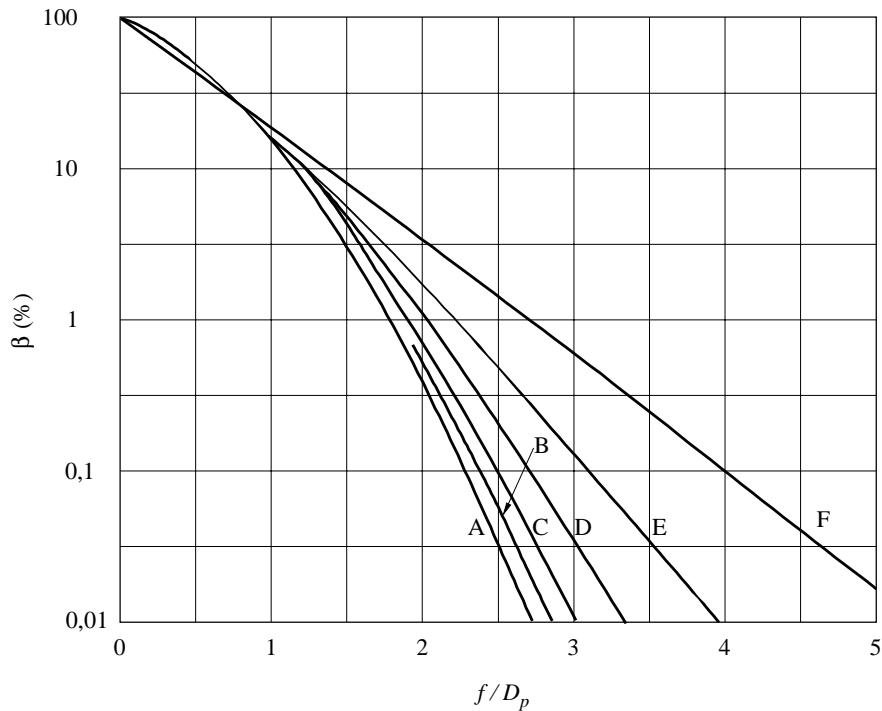
0328-09

Il convient toutefois de noter que ces pentes ne continuent pas indéfiniment. En raison du bruit engendré à l'intérieur de l'émetteur, le spectre a une limite inférieure (ou plancher) dont le niveau dépend du type d'étage RF de sortie.

3.9.3 Puissance hors bande et largeur de bande

Les courbes montrant la puissance hors bande des émissions avec des valeurs médianes de l'excursion de fréquence sont reproduites sur la Fig. 10. Ces courbes ont été établies d'après la formule empirique dont il est question au premier alinéa du § 3.9.2.

FIGURE 10
Puissance hors bande du spectre pour $D_p/M > 0,5$



- Courbes A: $D_p/M > 2,5$
 B: $D_p/M = 1,8$
 C: $D_p/M = 1,4$
 D: $D_p/M = 1,2$
 E: $D_p/M = 0,7$
 F: $D_p/M = 0,5$

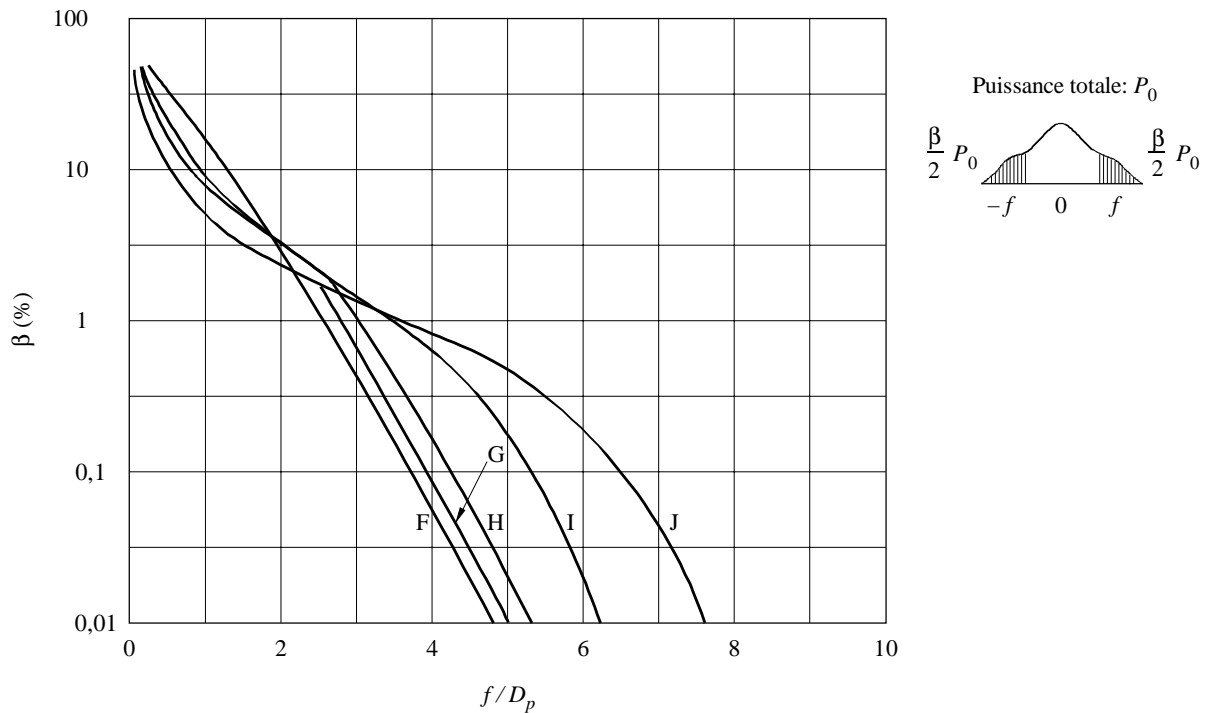
0328-10

Les courbes relatives aux émissions avec une petite excursion de fréquence sont données sur la Fig. 11, qui a été établie par intégration graphique à partir de la Fig. 9.

La Fig. 12 a été obtenue à partir des Fig. 10 et 11 et représente la largeur de bande normalisée pour diverses valeurs du rayonnement hors bande. Les irrégularités au voisinage des points correspondant à $D_p/M = 0,5$ peuvent être attribuées au fait que les Fig. 8 et 9 ont été établies sur la base de méthodes différentes à partir de deux valeurs extrêmes de l'indice de modulation.

Les données expérimentales ont été reportées sur les courbes de la Fig. 12 et démontrent clairement la validité des Fig. 8 à 12.

FIGURE 11

Puissance hors bande du spectre pour $D_p/M < 0,5$ 

0328-11

3.10 Emissions à modulation d'amplitude à bande latérale unique, ou à bandes latérales indépendantes pour la téléphonie et la télégraphie harmonique multivoies

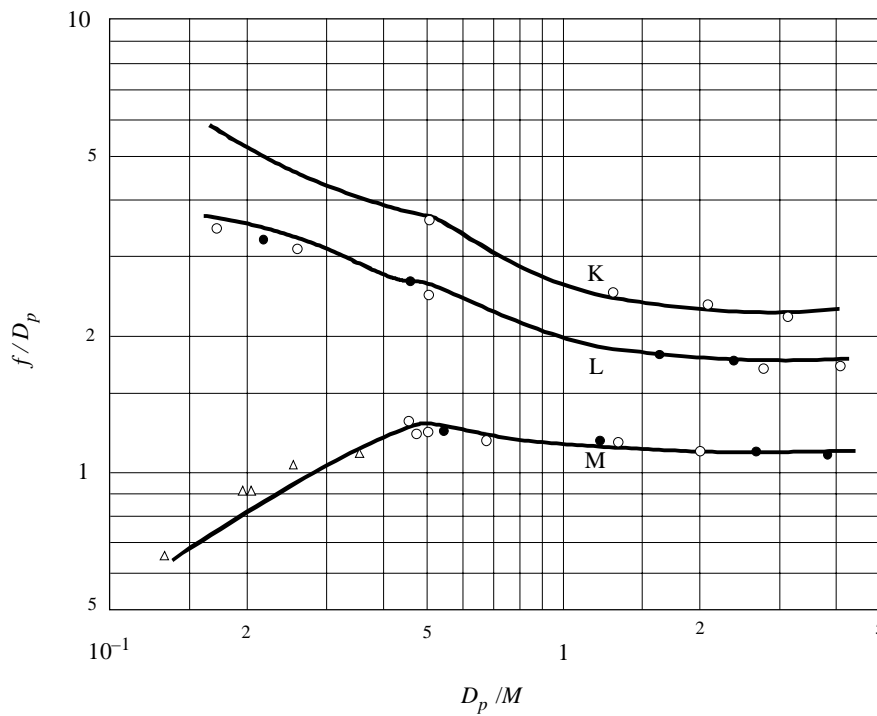
3.10.1 Introduction

La largeur de bande occupée et le rayonnement hors bande des émissions à modulation d'amplitude acheminant des signaux analogiques dépendent, à un degré variable, de plusieurs facteurs qui sont:

- le type de signal modulant;
- le niveau du signal d'entrée qui détermine la charge de l'émetteur;
- la bande passante qui est déterminée par les filtres utilisés dans les étages à fréquence acoustique, ainsi que dans les étages intermédiaires et final de modulation de l'émetteur;
- le niveau des composantes de distorsion harmonique et d'intermodulation aux fréquences du spectre hors bande.

Les résultats des mesures dépendent également de la bande passante du dispositif de mesure sélectif employé et de ses caractéristiques dynamiques, telles que le temps d'intégration de l'appareil de mesure ou de tout autre appareil employé avec le dispositif de mesure sélectif.

FIGURE 12
Largeur de bande, en fonction de D_p , pour un pourcentage déterminé de la puissance hors bande



Courbes K: $\beta = 0,1\%$
 L: $\beta = 1\%$
 M: $\beta = 10\%$
 ● ○ △ Valeurs mesurées

0328-12

3.10.2 Forme de l'enveloppe spectrale pour des émissions de classe J3E et de classe J7B modulées par du bruit blanc

Le présent paragraphe porte sur les résultats de mesures faites par plusieurs administrations sur des émetteurs de différents modèles pour les classes d'émission J3E et J7B.

On trouvera, récapitulées dans le Tableau 6, les principales caractéristiques des émetteurs et des conditions de mesure.

TABLEAU 6
Caractéristiques des émetteurs et conditions de mesure pour
les émissions de classes J3E et J7B

Rubriques N°	1	2	3	4	5
Classe d'émission	J3E	J3E	J3E	J3E; J7B	J3E
<i>Caractéristiques de l'émetteur:</i> – puissance en crête P_p (deux tonalités) ⁽¹⁾ (kW) – distorsion d'inter-modulation de 3 ^e ordre α_3 ⁽¹⁾ (dB)	Différentes valeurs	0,150	Différents émetteurs 2,5-30		Différents émetteurs Plusieurs kW à quelques dizaines de kW
<i>Type de signal de modulation:</i> – largeur de bande	Bruit blanc légèrement inférieure à B_p ⁽²⁾	Bruit blanc limitée seulement par B_p ⁽²⁾	Bruit blanc limitée seulement par B_p ⁽²⁾	Bruit blanc Bruit pondéré	Bruit blanc
<i>Niveau du signal d'entrée</i> ⁽¹⁾ réglé à une valeur telle que: – à l'entrée, P_m (bruit) = – à la sortie, P_m (bruit) = – à la sortie, P_p (bruit) =	P_m (deux tonalités)	P_p (deux tonalités)	P_m (deux tonalités)	$0,25 P_p$ (deux tonalités)	
<i>Type de dispositif de mesure:</i> – bande passante (Hz)		Analyseur de spectre 300	Analyseur de spectre		Analyseur de spectre $\leq 0,05 F$ ⁽²⁾
Forme du spectre	Voir la Fig. 14				Voir le § 3.10.2.5

(1) Dans tous les essais, l'émetteur est d'abord modulé par deux signaux sinusoïdaux d'amplitude égale. Ensuite, la puissance en crête, P_p (deux tonalités) et le niveau de distorsion d'intermodulation de 3^e ordre, α_3 , sont déterminés conformément aux méthodes exposées dans la Recommandation UIT-R SM.326. Enfin, les deux signaux sinusoïdaux sont remplacés par un signal de bruit, dont le niveau est réglé pour donner l'une des conditions mentionnées sous «niveau du signal d'entrée», où P_m est la puissance moyenne et P_p est la puissance en crête.

(2) B_p est la bande passante résultant des filtres dans l'émetteur et F est la largeur de bande nécessaire.

Les résultats des mesures peuvent être récapitulés comme suit:

3.10.2.1 Essais décrits dans la rubrique N° 1 du Tableau 6

En supposant que l'émetteur fonctionne dans les conditions mentionnées dans la rubrique N° 1 du Tableau 6 et en supposant également que le rayonnement hors bande soit surtout produit par l'intermodulation dans les étages radiofréquence qui suivent le modulateur final, on peut conclure que:

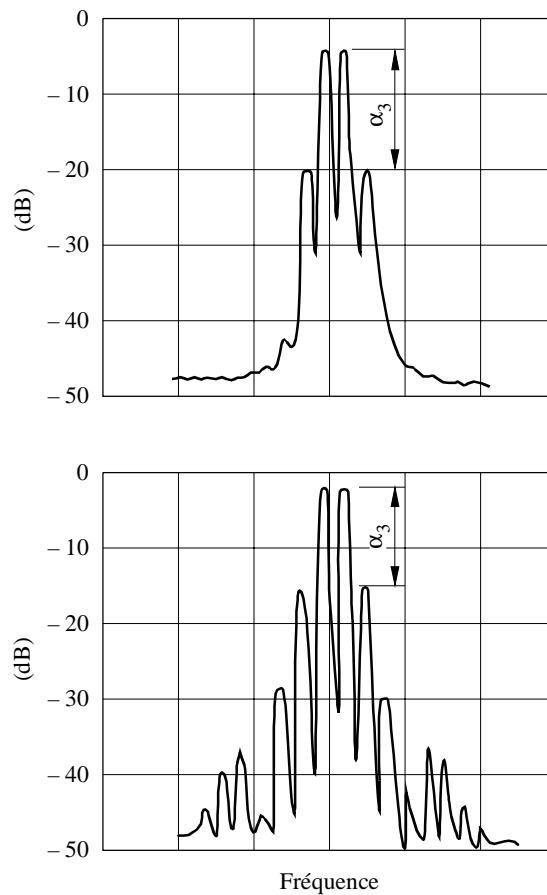
- la partie centrale du spectre radioélectrique présente essentiellement une forme rectangulaire et se superpose à une courbe indiquant le rayonnement hors bande qui est symétrique par rapport à la fréquence centrale (voir la Fig. 14);
- la différence α_N entre le niveau de la partie plate du sommet du spectre et celui auquel commence le rayonnement hors bande est généralement égale au niveau de la distorsion d'intermodulation du troisième ordre α_3 (voir la Fig. 15);
- la pente (dB/Hz), de la courbe représentant le rayonnement hors bande, est inversement proportionnelle à la largeur de bande B du signal de bruit à l'entrée;

- la pente est constante, au moins au voisinage des limites de la largeur de bande et a une valeur comprise entre 10 et 20 dB par largeur de bande B selon la nature de la distorsion (voir la Fig. 16);
- la largeur de bande occupée par l'émission est égale à la largeur du spectre principal à condition que α_3 ne soit pas inférieur à 20 dB.

Les conclusions qui précèdent sont censées être valables aussi lorsque le signal modulant est comparable à un bruit blanc, comme dans le cas des émissions de radiotéléphonie utilisant un dispositif de secret à découpage de bande ou dans celui des émissions de radiotélégraphie harmonique multivoies.

FIGURE 13

**Enveloppe spectrale d'une émission de classe J3E
modulée par deux signaux sinusoïdaux**



α_3 : niveau d'intermodulation de 3^e ordre

0328-13

3.10.2.2 Essais décrits dans la rubrique N° 2 du Tableau 6

Les résultats, notamment en ce qui concerne le niveau auquel commence le rayonnement hors bande, sont sensiblement les mêmes que ceux que l'on obtient par les mesures décrites pour la rubrique N° 1 du Tableau 6 et la rubrique N° 1 du Tableau 7.

3.10.2.3 Essais décrits dans la rubrique N° 3 du Tableau 6

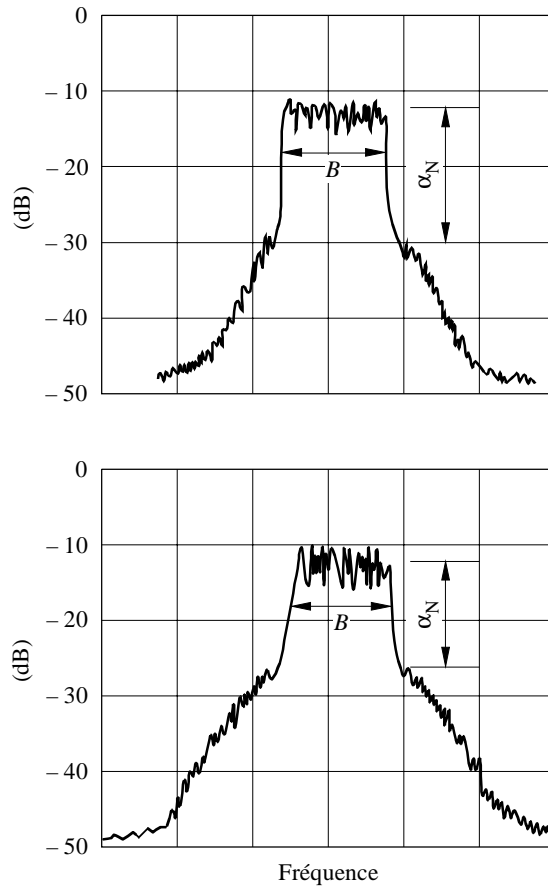
Les émetteurs utilisés pour ces essais, bien que de conception et de puissance différentes, utilisaient tous des triodes dans l'étage final et pouvaient être excités jusqu'à l'apparition d'un courant de grille.

Dans une première série d'essais, les émetteurs étaient assez fortement chargés, pour permettre de déterminer l'influence possible du courant de grille. Dans ces conditions, le niveau α_3 de distorsion d'intermodulation du 3^e ordre était assez mauvais et l'on a constaté un écart assez sensible entre la valeur de α_3 et le niveau α_N , dans le spectre de puissance, auquel commence le rayonnement hors bande.

Au cours d'une deuxième série d'essais, on a déterminé α_N et α_3 en fonction du niveau de modulation à l'entrée. Lorsque ce niveau avait des valeurs faibles, la relation $\alpha_3 = \alpha_N$ était à peu près satisfaite.

D'autre part, on a observé que, dans les conditions de modulation indiquées dans la rubrique N° 3 du Tableau 6, la puissance moyenne du signal RF modulé par un bruit était supérieure de 1 dB environ à la puissance moyenne du signal RF modulé par deux signaux sinusoïdaux. De ce fait, la puissance en crête est dépassée pendant un pourcentage notable du temps. Cette condition ne correspond pas aux pratiques généralement adoptées en exploitation et des expériences ultérieures semblent indiquer qu'il pourrait être nécessaire de régler le niveau du signal de bruit à une valeur qui serait inférieure de 2 à 3 dB à celle que l'on a utilisée durant les essais qui viennent d'être décrits.

FIGURE 14
**Enveloppe spectrale d'une émission de classe J3E
 modulée par du bruit blanc**



α_N : voir le texte
 B: largeur de bande du signal de bruit

0328-14

3.10.2.4 Essais décrits dans la rubrique N° 4 du Tableau 6

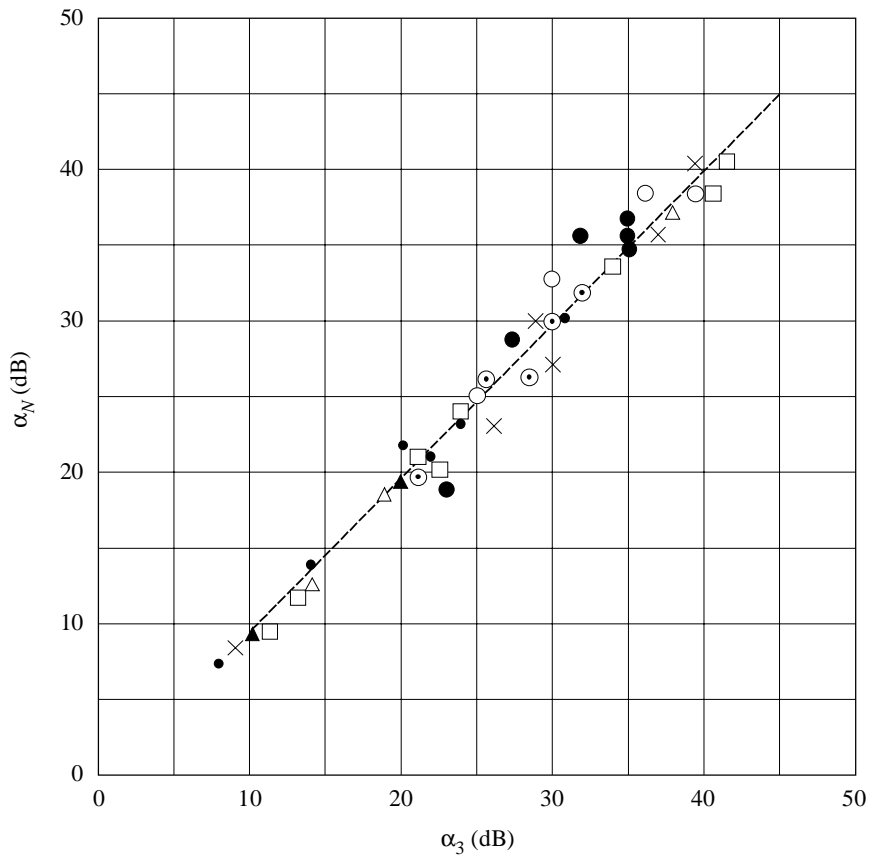
Le réglage du niveau du signal d'entrée mentionné dans la rubrique N° 4 du Tableau 6 s'applique aux émetteurs de classe J3E et aux émetteurs de classe J7B. Dans ce cas, la relation ci-après est satisfaite en ce qui concerne la puissance du signal radiofréquence:

$$P_m \text{ (bruit)} = 0,5 P_m \text{ (deux tonalités)} = 0,25 P_p \text{ (deux tonalités)} \quad (13)$$

Dans ces conditions, l'enveloppe du signal modulé par le bruit ne dépassera pas le niveau correspondant à la puissance nominale en crête pendant plus de 2% du temps environ.

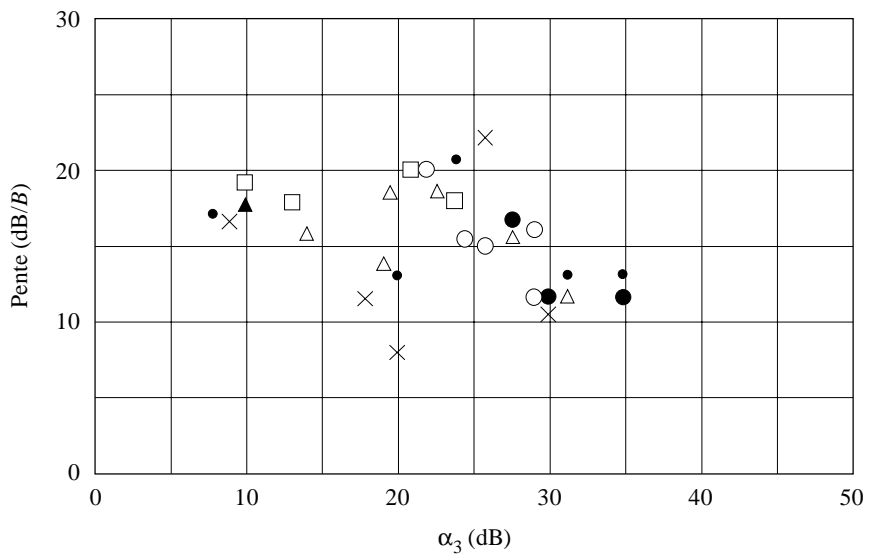
Si, pour un émetteur de classe J3E, on emploie un signal de bruit pondéré, on peut utiliser le même réglage.

FIGURE 15
 Valeur de α_N indiquée sur la Fig. 14 pour différentes valeurs de α_3



0328-15

FIGURE 16
 Valeur de la pente au voisinage de la largeur de bande pour différentes valeurs de α_3



0328-16

3.10.2.5 Essais décrits dans la rubrique N° 5 du Tableau 6

Si l'on porte en abscisse la fréquence en unités logarithmiques, la fréquence de référence étant supposée coïncider avec le centre de la largeur de bande nécessaire F et en ordonnée les densités de puissance (dB), les courbes représentant les spectres hors bande produits par un certain nombre d'émetteurs ayant différentes puissances nominales pour la classe d'émission J3E se situent au-dessous de deux droites partant respectivement du point $(+0,5 F, 0 \text{ dB})$ et du point $(-0,5 F, 0 \text{ dB})$ et aboutissant respectivement au point $(+0,6 F, -30 \text{ dB})$ et au point $(-0,6 F, -30 \text{ dB})$. Au-delà de ces derniers points et jusqu'au niveau -60 dB , les courbes se trouvent au-dessous de deux droites partant de ces derniers points et ayant une pente de 12 dB/octave .

3.10.3 Forme de l'enveloppe spectrale pour des émissions de classes B8E et R7J modulées par du bruit blanc

Le présent paragraphe porte sur les résultats des mesures faites par plusieurs administrations sur des émetteurs de différents modèles pour les émissions de classes B8E et R7J.

On trouvera, récapitulées dans le Tableau 7, les principales caractéristiques des émetteurs et les conditions de mesure.

Les résultats des mesures peuvent être récapitulés ci-après:

TABLEAU 7

Caractéristiques des émetteurs et conditions de mesure pour les émissions de classes B8E et R7J

Rubriques N°	1	2	3
Classe d'émission	B8E	B8E	B8E; R7J
<i>Caractéristiques de l'émetteur:</i> – puissance en crête P_p (deux tonalités) ⁽¹⁾ (kW) – distorsion d'intermodulation de 3 ^e ordre α_3 ⁽¹⁾ (dB) – nombre de voies actives pendant la mesure – largeur de bande de la voie téléphonique (Hz) – suppression de porteuse (dB) par rapport à la puissance en crête	20 ≤ -35 2, dans la bande latérale inférieure 3 000 -50	Différents émetteurs Plusieurs kW à quelques dizaines de kW 2 et 4	Différents émetteurs Différentes valeurs
<i>Type de signal de modulation:</i> – largeur de bande	Bruit blanc 30 Hz à 20 kHz $\pm 1 \text{ dB}$	Bruit blanc	Bruit blanc 100 Hz à 6 kHz par bande latérale
<i>Niveau du signal d'entrée</i> ⁽¹⁾ réglé à une valeur telle que: – à la sortie, P_m (bruit) =	0,25 P_p (deux tonalités)		0,25 P_p (deux tonalités)
<i>Type de dispositif de mesure:</i> – bande passante (Hz)	Dispositif de mesure sélectif (valeur efficace vraie) Courbes C: 3 800 D: 100	Analyseur de spectre $\leq 0,05 F$ ⁽²⁾	Analyseur de spectre
Forme du spectre	Voir la Fig. 17	Voir le § 3.10.3.2	

⁽¹⁾ Dans tous les essais, l'émetteur est d'abord modulé par deux signaux sinusoïdaux d'amplitude égale. Ensuite, la puissance en crête, P_p (deux tonalités) et le niveau de distorsion d'intermodulation de 3^e ordre, α_3 , sont déterminés conformément aux méthodes exposées dans la Recommandation UIT-R SM.326. Enfin, les deux signaux sinusoïdaux sont remplacés par un signal de bruit, dont le niveau est réglé pour donner l'une des conditions mentionnées sous «niveau du signal d'entrée», où P_m est la puissance moyenne et P_p est la puissance en crête.

⁽²⁾ B_p est la bande passante résultant des filtres dans l'émetteur et F est la largeur de bande nécessaire.

Les résultats des mesures peuvent être récapitulés comme suit:

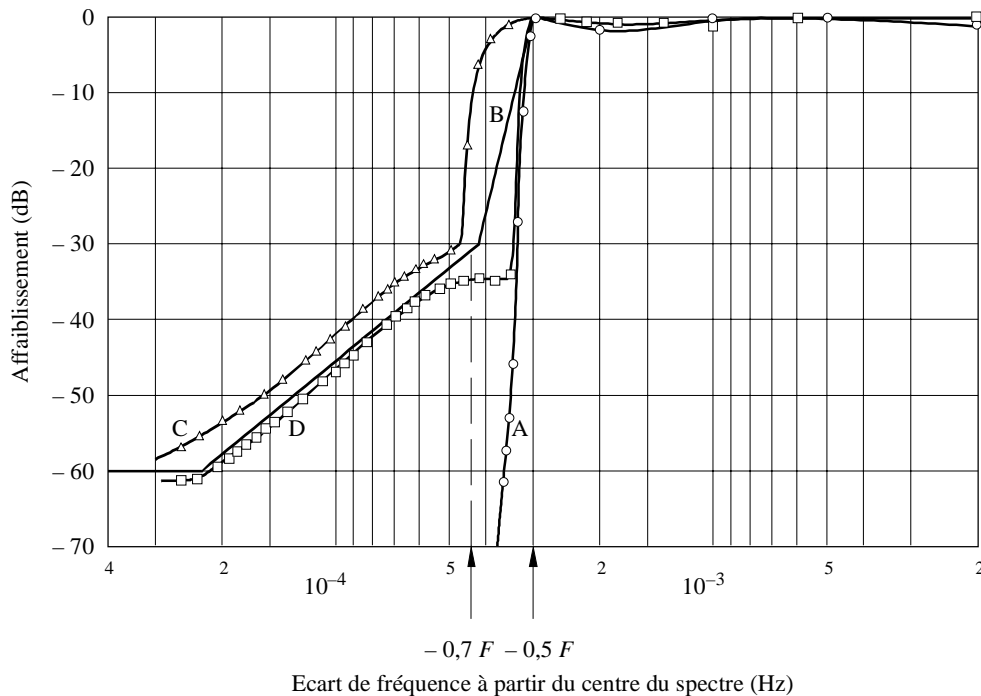
3.10.3.1 Essai décrit dans la rubrique N° 1 du Tableau 7

Seule la bande latérale inférieure a été utilisée, la bande latérale supérieure ayant été affaiblie à -60 dB au moins à l'aide d'un filtre incorporé dans l'émetteur. L'onde porteuse a été affaiblie à -50 dB environ (classe J3E) et la bande passante à fréquence acoustique était de $6\,000$ Hz environ.

La largeur de bande du signal de bruit n'était limitée que par les caractéristiques du filtre de l'émetteur (voir la courbe A de la Fig. 17). Il convient de noter à cet égard que si l'on veut déterminer le spectre radioélectrique produit par une seule voie téléphonique, la largeur de bande du signal d'essai doit être limitée avant qu'il ne soit appliqué à l'émetteur, puisque sa largeur de bande totale est considérablement plus grande que celle d'une seule voie téléphonique.

FIGURE 17

Enveloppe du spectre de densité de puissance pour la classe d'émission B8E



F : largeur de bande nécessaire ($6\,000$ Hz)

Courbes A: caractéristique du filtre de l'émetteur

B: courbe de limitation spécifiée au § 3.5.2.3

C: mesurée avec un analyseur ayant une bande passante de $3\,800$ Hz

D: mesurée avec un analyseur ayant une bande passante d'environ 100 Hz

0328-17

Une série de mesures a été effectuée à l'aide d'un voltmètre sélectif ayant une bande passante d'environ 100 Hz. Pour les autres séries de mesures, on a utilisé un récepteur ayant une bande passante de $3,8$ kHz et une pente d'affaiblissement très raide.

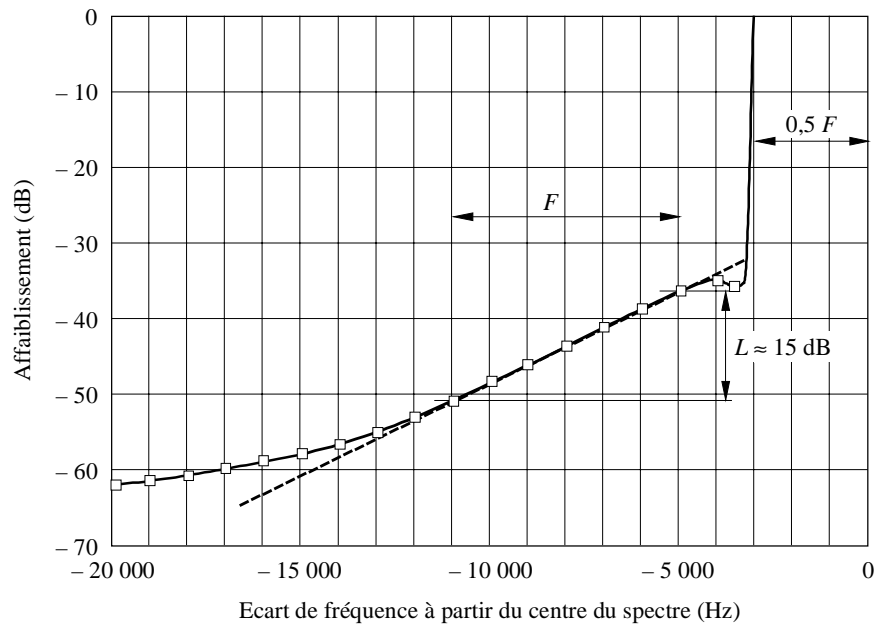
Les résultats sont indiqués respectivement sur la Fig. 17 par les courbes D et C, qui représentent la moitié inférieure de l'enveloppe des spectres de la bande latérale inférieure pour la gamme de fréquences radioélectriques la plus basse. Des courbes semblables à celles de la Fig. 17 ont été obtenues pour la gamme des fréquences élevées.

Si le spectre mesuré à l'aide d'un appareil à bande étroite se trouve, comme dans le cas présent, juste dans les limites de la courbe B, le spectre analysé au moyen d'un récepteur à large bande dépasse ces limites. Comme les appareils de mesure à large bande ne tiennent pas compte de la structure fine du spectre, notamment dans les régions où sa pente est raide, il est recommandé d'utiliser pour ces mesures des appareils à bande étroite.

On peut en outre déduire de la Fig. 17 que le rayonnement hors bande commence à un niveau presque égal à celui des produits d'intermodulation de 3^e ordre, c'est-à-dire à -35 dB. Le rayonnement hors bande reste presque constant au voisinage immédiat des limites de la largeur de bande; aux fréquences éloignées de ces limites, la courbe décroît graduellement, tout d'abord proportionnellement à la fréquence, puis elle atteint en dernier lieu une pente d'environ 12 dB/octave. Sur la Fig. 18, on a utilisé une échelle linéaire des fréquences en abscisse pour illustrer plus clairement l'enveloppe du spectre précédemment décrite.

FIGURE 18

Courbe D de la Fig. 17 représentée sur une échelle de fréquence linéaire



L : région linéaire à peu près égale à la largeur de bande nécessaire F

0328-18

3.10.3.2 Essai décrit à la rubrique N° 2 du Tableau 7

Si l'on porte en abscisse la fréquence en unités logarithmiques, la fréquence de référence étant supposée coïncider avec le centre de la largeur de bande nécessaire F et en ordonnée les densités de puissance (dB), les courbes représentant les spectres hors bande produits par un certain nombre d'émetteurs ayant différentes puissances nominales pour la classe d'émission B8E (soit deux voies, soit quatre voies simultanément actives) se situent au-dessous de deux droites partant, respectivement, du point $(+0,5 F, 0 \text{ dB})$ et du point $(-0,5 F, 0 \text{ dB})$ et aboutissant, respectivement, au point $(+0,55 F, -30 \text{ dB})$ et $(-0,55 F, -30 \text{ dB})$. Au-delà de ces derniers points et jusqu'au niveau -60 dB, les courbes se trouvent au-dessous de deux droites partant de ces derniers points et ayant une pente de 12 dB/octave.

3.10.3.3 Essais décrits à la rubrique N° 3 du Tableau 7

L'appareil utilisé était conçu pour faciliter les mesures de la distorsion d'intermodulation faites selon la méthode à deux tonalités ou selon la méthode avec bruit blanc en vue de procéder à une comparaison entre les deux. Lorsqu'on a utilisé la méthode avec bruit blanc, la sortie du générateur de bruit blanc était connectée à des filtres pour limiter la largeur de bande du bruit à la valeur maximale normalement utilisée en exploitation, c'est-à-dire de 100 à 6 000 Hz par bande latérale. Grâce à un filtre éliminateur de bande, on obtenait un intervalle à l'intérieur duquel on pouvait mesurer les produits de distorsion «dans la bande», à l'aide d'un filtre de 30 Hz faisant partie de l'analyseur de spectre. On a constaté que le filtre éliminateur devait avoir une largeur de bande minimale de 500 Hz à 3 dB et que le facteur de forme à 60 dB devait être de 3,5/1 si l'on voulait obtenir un pouvoir séparateur suffisant avec le filtre à 30 Hz, pour la mesure des rapports de distorsion voisins de 50 dB.

La majeure partie des mesures avec une charge de bruit blanc ont été faites avec un niveau moyen de puissance de sortie de -6 dB par rapport à la puissance en crête nominale, ce qui confirme la relation dont il est question au § 3.10.2.4, formule (13).

Ces essais confirment et généralisent les conclusions formulées antérieurement et permettent d'affirmer qu'un bruit blanc remplace valablement le signal de modulation de deux types d'émission multiplex, B8E et R7E, couramment utilisés. Ils révèlent en outre l'existence d'une relation expérimentale utile et stable entre la distorsion d'intermodulation dans la bande et le rayonnement hors bande. Il n'y a toutefois pas une nette concordance entre les rapports de distorsion des produits d'intermodulation pour les mesures à deux tonalités et la distorsion d'une charge équivalente de bruit blanc.

3.11 Classe d'émission G1B (télégraphie à modulation de phase à une voie)

3.11.1 Largeur de bande nécessaire

La largeur de bande nécessaire peut se calculer au moyen de la formule suivante:

$$B_n = K B$$

où:

B : rapidité de modulation (Bd)

$K = 5$ pour les liaisons radioélectriques avec évanouissement

$K = 3$ pour les liaisons radioélectriques sans évanouissement.

3.11.2 Spectre hors bande

La courbe représentant le spectre hors bande devra se trouver au-dessous des points dont les coordonnées sont données au Tableau 8.

TABLEAU 8

Formules permettant de calculer B_x aux niveaux X (dB)				
-20	-30	-40	-50	-60
$3 B$	$7 B$	$13 B$	$23 B$	$41 B$

Pour chaque point situé sur la courbe limite du spectre, l'abscisse correspond à la fréquence relative $\pm B_x/2 B$ et l'ordonnée au niveau relatif X . Le niveau de référence 0 dB correspond au niveau de la porteuse non modulée.

4 Approximation des enveloppes des spectres hors-bande pour les calculs analytiques

Le § 3.4.2.2 du Manuel sur le contrôle du spectre radioélectrique de l'UIT (Genève, 1995) donne des formules permettant de calculer une approximation des enveloppes des spectres hors bande par des fonctions de puissance (lignes droites en double échelle logarithmique, voir les § 3.1.4, 3.4.2, 3.5.1.3, 3.5.2.3, 3.6.1.3 et 3.7.8 ci-dessus) et par des fonctions exponentielles. Pour convertir la pente des lignes droites en double échelle logarithmique (fonction de puissance), exprimées par N_{oct} (dB/octave) et N_{dec} (dB/décade), il convient d'utiliser la formule suivante:

$$N_{dec} = 3,33 N_{oct}$$

ANNEXE 1

Exemples de spectres illustrant la définition de la puissance hors bande, de la largeur de bande nécessaire et de la largeur de bande à x dB.

Abscisses: fréquence

Ordonnées: puissance/Hz.

NOTE 1 – Les spectres sont supposés symétriques.

NOTE 2 – La courbe en tirets représente la limite admissible du spectre hors bande.

FIGURE 19
 Evaluation du spectre par comparaison
 de la puissance hors bande avec
 celle limitée par la courbe limite

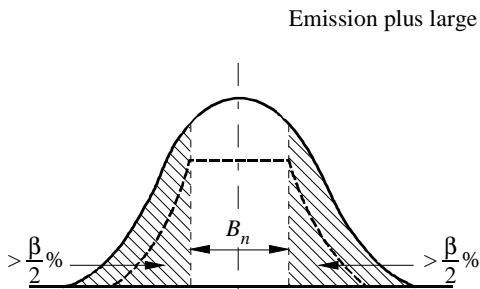
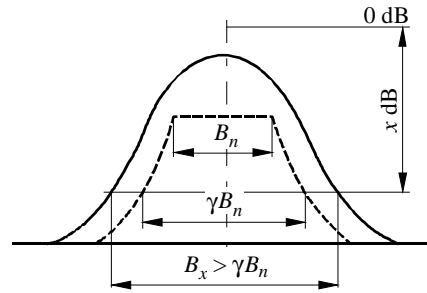
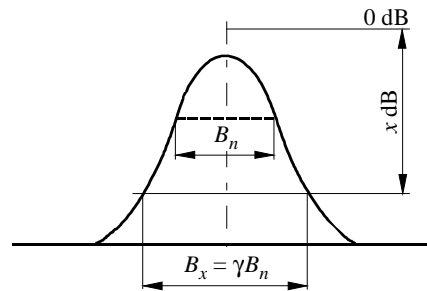
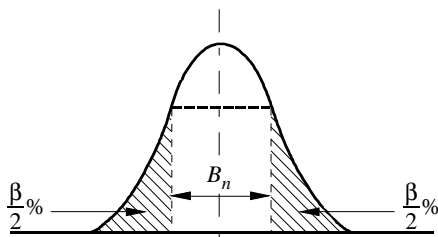


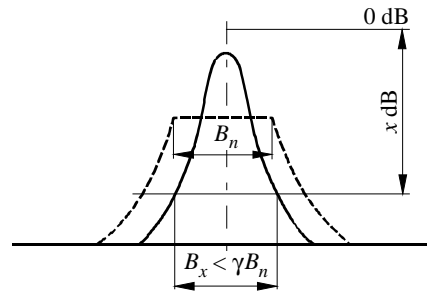
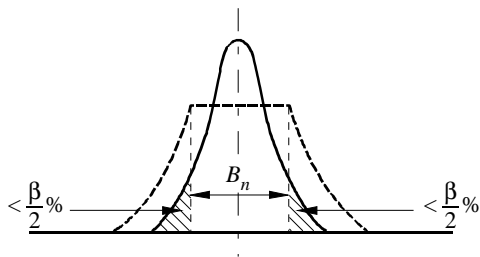
FIGURE 20
 Evaluation du spectre selon
 la largeur de bande à x dB



Emission «optimale»



Emission plus étroite que l'émission «optimale»



B_n : largeur de bande nécessaire

B_x : largeur de bande à «x dB»

x: valeur du niveau de mesure (dB)

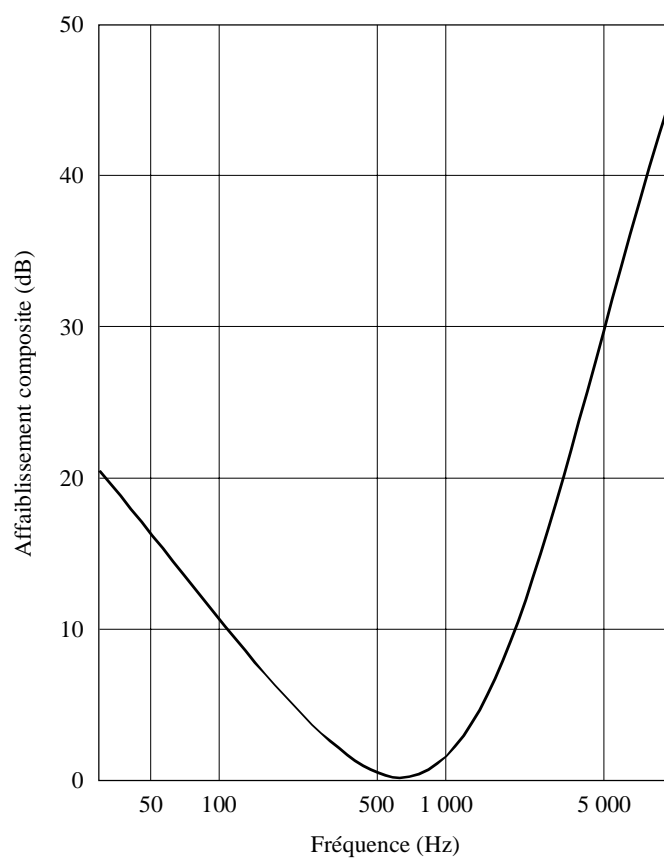
γ : rapport requis entre la largeur de bande à x dB et la largeur de bande nécessaire, déterminé par la valeur du niveau x dB et par les paramètres de la courbe limitant le spectre hors bande

$\frac{\beta}{2}$: moitié de la puissance hors bande admissible

ANNEXE 2

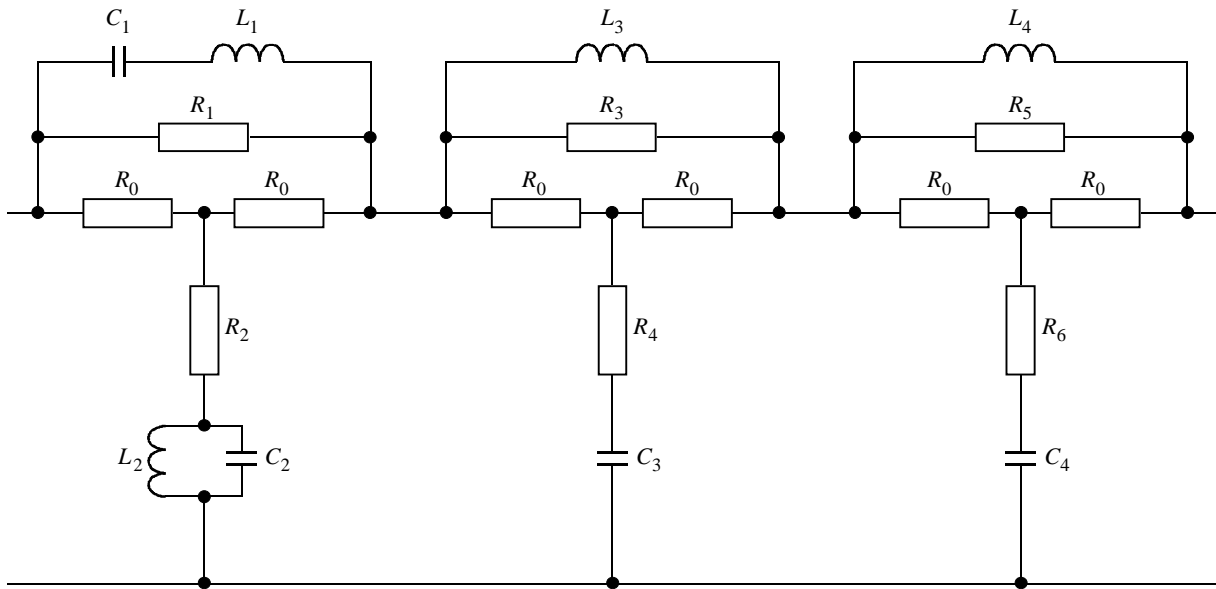
(Voir la Recommandation UIT-T G.227)

FIGURE 21

**Courbe de réponse relative du réseau pondérateur
du générateur de signal téléphonique conventionnel**

0328-21

FIGURE 22
Réseau pondérateur du générateur de signal téléphonique conventionnel



Cellule 1

$$\frac{R_1}{R_0} = 45$$

$$\frac{R_2}{R_0} = 0,0222$$

$$\frac{R_3}{R_0} = 10$$

$$\frac{R_4}{R_0} = 0,1$$

$$\frac{R_5}{R_0} = 22$$

$$\frac{R_6}{R_0} = 0,0455$$

Cellule 2

$$\frac{L_1 \omega_0}{R_0} = 0,5$$

$$\frac{L_2 \omega_0}{R_0} = 2$$

$$\frac{L_3 \omega_0}{R_0} = 0,5$$

$$\frac{L_4 \omega_0}{R_0} = 1,11$$

Cellule 3

$$R_0 C_1 \omega_0 = 2$$

$$R_0 C_2 \omega_0 = 0,5$$

$$R_0 C_3 \omega_0 = 0,5$$

$$R_0 C_4 \omega_0 = 1,11$$

$$\text{avec } \omega_0 = 2\pi \times 10^3 \times \text{s}^{-1}$$

R_0 : impédance caractéristique du réseau

Tolérance sur les composants: $\pm 1\%$

Extrait de la Recommandation UIT-R BS.559, § 1.3

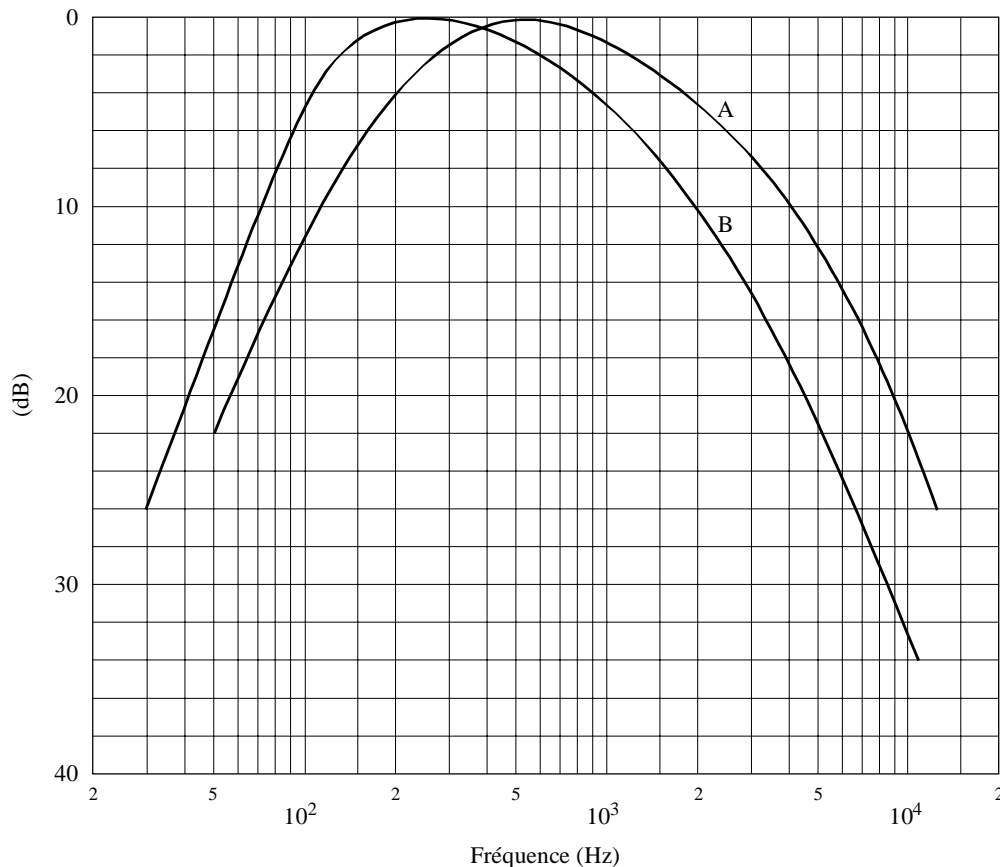
1 Signal de bruit utilisé pour la modulation des générateurs

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. 23 mesurée au moyen de filtres «tiers d'octave»).

FIGURE 23



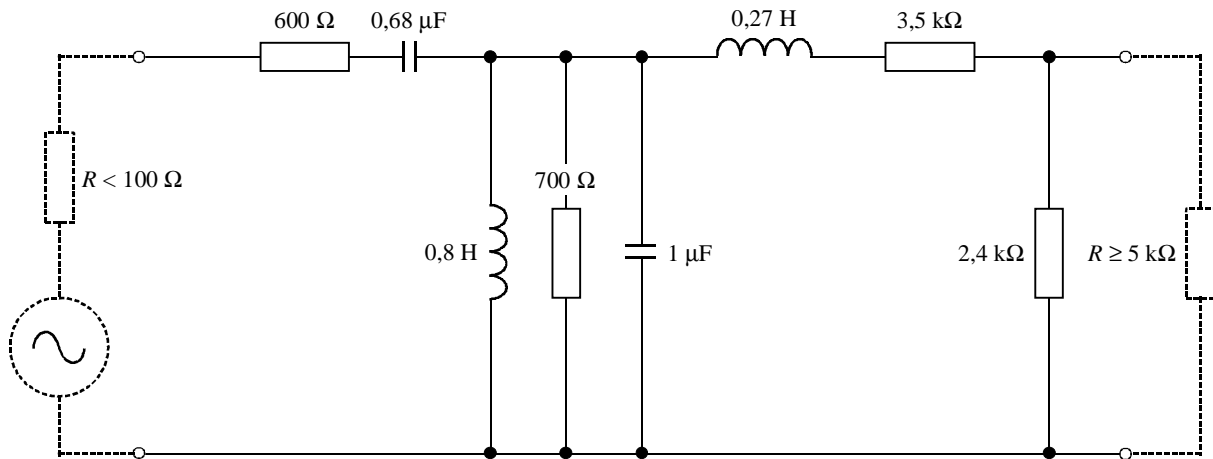
Courbes A: spectre du bruit normalisé (mesuré à l'aide d'un filtre «tiers d'octave»)
 B: réponse en fréquence du filtre

0328-23

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. 24. La caractéristique de ce filtre est la courbe B de la Fig. 23. (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.

FIGURE 24
Circuit de filtrage



0328-24

ANNEXE 4

Type de signal de modulation et réglage du niveau du signal d'entrée

1 Téléphonie, classe d'émission A3E

Etant donné que la distribution statistique des amplitudes du bruit est pratiquement indépendante de la largeur de bande du bruit et qu'elle n'est guère modifiée lorsque le bruit est pondéré au moyen d'un réseau linéaire, la procédure ci-dessous convient à la simulation de la charge d'un émetteur dans des conditions de trafic réel.

L'émetteur est d'abord modulé par un signal sinusoïdal avec un taux de modulation de 100%. Le signal sinusoïdal est ensuite remplacé par un signal de bruit dont le niveau est réglé de manière que la tension efficace après démodulation linéaire du signal radiofréquence soit égale à 35% de la tension efficace qui était produite par le signal sinusoïdal.

Avec ce réglage qui s'applique aussi bien au signal de modulation consistant en un bruit blanc qu'au signal de modulation consistant en un bruit pondéré, l'enveloppe du signal modulé par le bruit ne dépasse pas le niveau correspondant au taux de modulation de 100% pendant plus de 0,01% environ du temps, suivant la courbe de la Fig. 25.

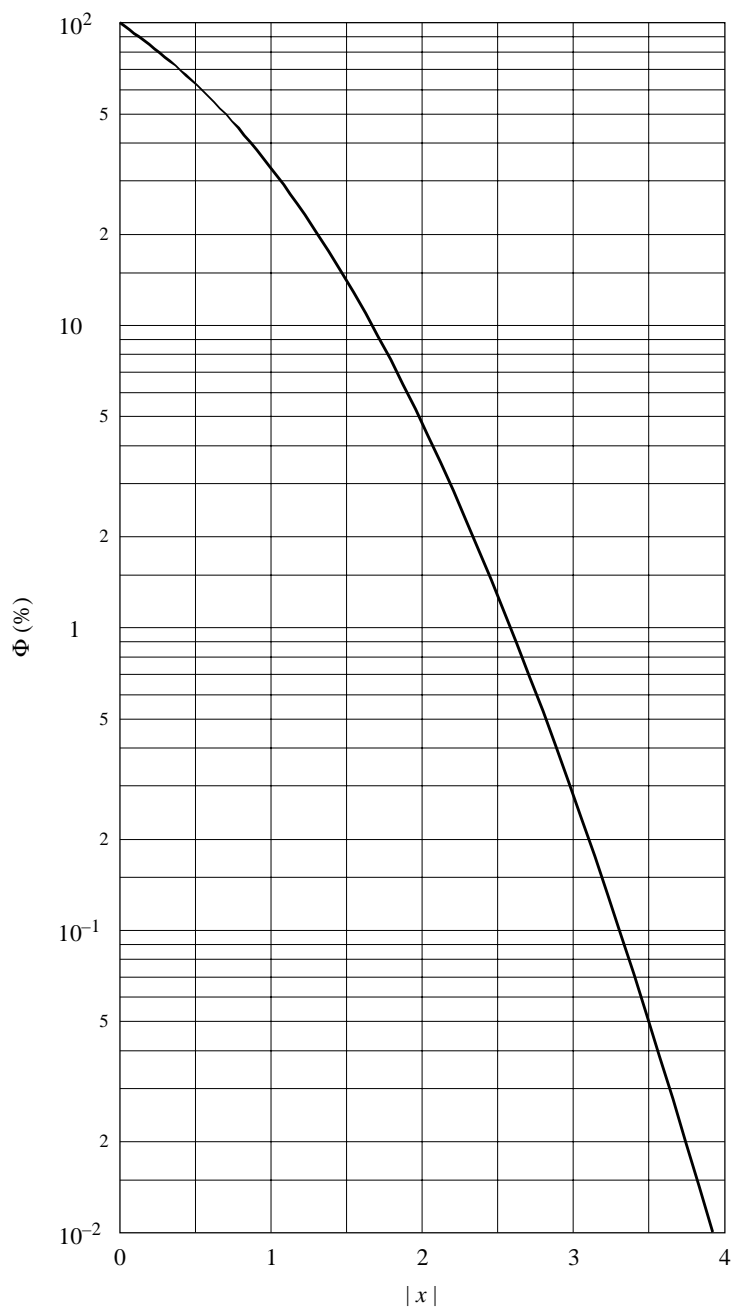
Les niveaux devraient être, de préférence, mesurés à la sortie de l'émetteur de la manière décrite ci-dessus, afin d'éviter l'apparition d'erreurs, résultant des différentes valeurs de la largeur de bande du bruit, erreurs qui peuvent se produire lorsque le niveau de bruit est mesuré à l'entrée ou à la sortie des filtres limiteurs de bande qui sont utilisés dans l'émetteur.

2 Radiodiffusion sonore, classe d'émission A3EGN

La procédure de réglage décrite au § 1 ci-dessus peut aussi s'appliquer à des émetteurs de radiodiffusion sonore, sauf que dans ce cas le bruit est pondéré conformément aux courbes dont il est question au § 3.6.1.2 et qui sont représentées à la Fig. 23.

FIGURE 25

Temps Φ (%) pendant lequel la valeur instantanée du bruit blanc dépasse la tension de seuil $\pm u$, en fonction du rapport x



x est donné par $|x| = |u| / U_{eff}$
où:

U_{eff} : valeur efficace de la tension de bruit
 u : niveau du seuil

0328-25