

## RAPPORT 1065 \*

**SPECTRE RF DES ÉMETTEURS DE RADIODIFFUSION SONORE  
A MODULATION DE FRÉQUENCE**

(Question 46/10, Programme d'études 46L/10)

(1986)

**1. Introduction**

Le spectre RF des émetteurs de radiodiffusion sonore à modulation de fréquence est théoriquement infini. En pratique, il peut être nécessaire de connaître avec précision la largeur de bande nécessaire (numéro 146 du Règlement des radiocommunications) ou la largeur de bande occupée (numéro 147 du Règlement des radiocommunications). Par exemple, ce n'est que lorsque l'on connaît la largeur de bande occupée qu'il est possible de prévoir un service acceptable dans les bandes adjacentes.

Des règles relatives au calcul de la largeur de bande d'émission nécessaire pour de nombreux services sont énoncées dans le Règlement des radiocommunications et des exemples sont donnés dans son Appendice 6. Selon ces règles, la largeur de bande nécessaire d'émission en modulation de fréquence est calculée au moyen de la règle de Carson:

$$B_n = 2f_{max} + 2DK$$

où:

 $B_n$  : largeur de bande nécessaire $f_{max}$  : fréquence maximale de modulation $D$  : déviation maximale de la porteuse RF $K$  : facteur essentiellement non défini et pris égal à 1 dans les exemples.

En radiodiffusion sonore à modulation de fréquence, la déviation maximale  $D$  est de 75 kHz et la fréquence maximale de modulation  $f_{max}$  est de 15 kHz pour les émissions monophoniques ou 53 kHz pour les émissions stéréophoniques. Lorsque des signaux d'information ou radiophoniques supplémentaires sont émis, la valeur correspondante peut atteindre 76 kHz.

Avec ces valeurs et  $K = 1$ , les largeurs de bande nécessaires résultant de l'application de la règle de Carson seraient:

$$B_n = 180 \text{ kHz}, B_n = 256 \text{ kHz} \text{ ou } B_n = 302 \text{ kHz, selon le cas.}$$

---

\* Ce Rapport doit être porté à l'attention de la Commission d'études 1.

Les résultats des mesures, particulièrement pour des émissions stéréophoniques, diffèrent grandement des valeurs calculées. A la lumière du Rapport 418, on peut douter de la possibilité d'utiliser la règle de Carson dans les calculs de largeur de bande pour des émissions stéréophoniques, étant donné que le préalable  $D \gg f_{max}$  n'est pas satisfait et qu'il faudra donc peut-être utiliser une valeur  $K \neq 1$ .

On a également des difficultés lorsqu'on calcule la largeur de bande occupée ainsi que les émissions hors bande. Par exemple, aucune référence à des émissions hors bande en radiodiffusion sonore MF n'est faite dans la Recommandation 328, «Spectres et largeurs de bande des émissions», bien que des émissions hors bande y soient définies. Même dans les Rapports 275 et 324, qui sont cités dans la Recommandation et qui traitent des mesures des largeurs de bande des émissions, on ne trouve aucune information utile sur cette question. Des mesures du spectre des émissions modulées en fréquence par du bruit blanc sont décrites dans le Rapport 977. Toutefois, les résultats de ces mesures ne permettent pas de formuler de conclusions en ce qui concerne le spectre radiofréquence des émetteurs de radiodiffusion sonore à modulation de fréquence. C'est dans cet esprit que les mesures décrites ci-après ont été effectuées [CCIR, 1982-86a].

## 2. Signal radiophonique simulé

En ce qui concerne les variations dans le temps, il existe une relation étroite entre le spectre RF d'un émetteur MF et le signal radiophonique modulant. On ne peut donc donner qu'une information statistique sur la distribution de la densité de puissance moyenne ou sur le pourcentage de temps pendant lequel certains niveaux sont dépassés.

Compte tenu de l'étroite relation entre le spectre RF et le signal AF modulant, le premier objectif a été de déterminer un signal radiophonique représentatif. Pour diverses mesures, le bruit coloré décrit dans la Recommandation 559 sert à simuler un signal radiophonique. La distribution de la densité spectrale de puissance de ce bruit coloré concorde assez bien avec celle d'un programme de radiodiffusion non comprimé représentatif. En raison de sa faible gamme dynamique, il est préféré pour certaines mesures. Cependant, dans le cas de mesures de spectres, il faudrait utiliser un signal modulant AF ayant des caractéristiques dynamiques semblables à celles d'un programme de radiodiffusion moyen. A cet effet, on a déterminé la distribution d'amplitude d'un programme de radiodiffusion stéréophonique non comprimé sur une période d'une semaine. La ligne continue de la Fig. 1 montre la distribution temporelle cumulative des niveaux radiophoniques pour ce signal AF. En outre, les mesures ont montré que les variations journalières étaient inférieures à 2 dB.

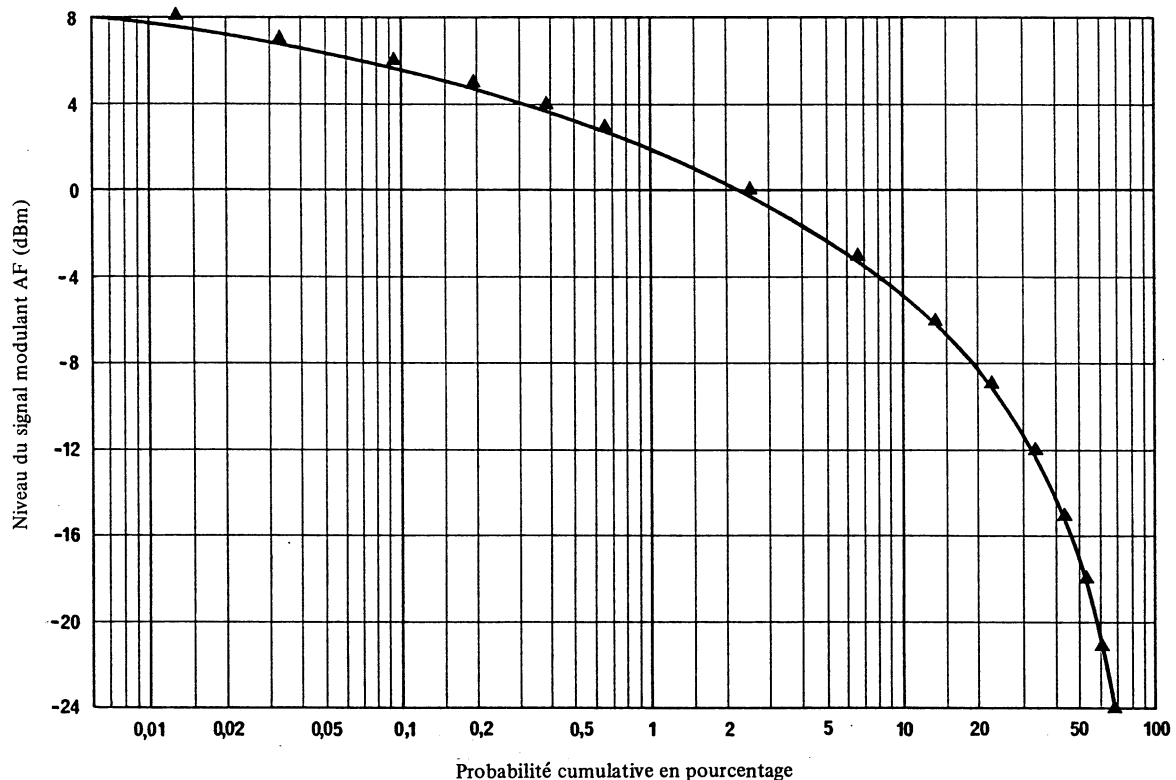


FIGURE 1 – Distribution de l'amplitude d'émissions de radiodiffusion sonore MF

- ▲ : distribution de la bande d'essai, séquence de 60 échantillons de programme (représentative d'un programme de haute qualité non comprimé)
- : distribution d'un programme d'une semaine

Pour réduire le temps nécessaire aux mesures, on a pris des échantillons d'une durée de 1 min également espacés dans le temps. On a ainsi obtenu une séquence de 60 échantillons de programme, représentative d'un programme stéréophonique de 24 h. Cela ressort de la Fig. 1 où les points de repère indiquent la distribution cumulative de la séquence d'échantillons. L'utilisation de cette séquence comme substitut représentatif d'un programme réel est justifiée par le fait que, sur la Fig. 1, les points de repère sont proches de la courbe.

### 3. Mesures de spectres

Dans certaines hypothèses, la densité spectrale de puissance d'une fonction du temps peut être mesurée avec un analyseur de spectre. Comme l'on voulait déterminer non seulement la distribution de la densité de puissance, mais aussi les spectres pour différents pourcentages de temps, l'analyseur de spectre a été utilisé uniquement comme filtre ayant une largeur de bande de bruit de 1,2 kHz et comme démodulateur logarithmique. L'analyseur était accordé sur diverses fréquences diversement distantes de la porteuse RF. Au moyen d'un compteur stochastique connecté à la sortie de l'analyseur, on a déterminé le pourcentage de temps pendant lequel divers niveaux étaient dépassés. Pour ce faire, un générateur de signaux RF, dont la sortie était directement reliée à l'entrée de l'analyseur, était modulé en fréquence, via un réseau de préaccentuation (50  $\mu$ s) et un codeur stéréo, par du bruit coloré ou par le signal AF représentant un programme stéréophonique type. Avec du bruit coloré, la déviation de fréquence était de  $\pm 32$  kHz comme dans la méthode décrite dans l'Annexe I à la Recommandation 641, alors qu'avec le signal AF, la déviation de fréquence correspondait à des conditions de fonctionnement normales, c'est-à-dire  $\pm 40$  kHz lorsque le signal AF est une tonalité sinusoïdale de 500 Hz au niveau studio (+6 dBm). Cette condition d'exploitation (indicateur d'amplitude maximale du CCITT (Rapport 292 du CCIR)) est obtenue avec un émetteur ajusté de manière que la déviation maximale en mode stéréo ne dépasse pas  $\pm 75$  kHz.

Les mesures stéréophoniques avec bruit coloré posent un autre problème. Jusqu'ici, les émetteurs MF étaient modulés avec du bruit coloré en mode monophonique seulement. Si pour les canaux A et B on utilise la même source de bruit, les deux signaux sont corrélés et aucun signal de différence,  $S$ , n'est produit tant que les niveaux de A et de B sont égaux. Deux sources de bruit différentes avec des signaux non corrélés ne sont cependant pas représentatives de programmes de radiodiffusion. Une solution acceptable a été trouvée en se basant sur la distribution d'amplitude d'émissions MF. Pour être plus précis, on a mesuré le rapport du signal somme,  $M$ , au signal différence,  $S$ . Plusieurs mesures qui concordaient bien entre elles ont montré qu'en moyenne:

$$M \approx S + 10 \text{ dB}$$

Dans le cas des mesures avec bruit coloré en stéréophonie, les niveaux appropriés ont été obtenus en injectant des niveaux différents aux entrées A et B du codeur stéréo. Le rapport choisi était:

$$A = B - 6 \text{ dB}$$

Cela signifie que le niveau du signal dans le canal A valait la moitié du niveau du signal dans le canal B. On obtient ainsi sur une échelle linéaire:

$$\text{Signal somme:} \quad M = (A + B)/2 = 1,5 B/2$$

$$\text{Signal différence:} \quad S = (A - B)/2 = 0,5 B/2$$

et, en conséquence:

$$M = 3 S$$

c'est-à-dire que le signal  $M$  est supérieur en gros de 10 dB au signal  $S$ .

### 4. Résultats des mesures

Initialement, la distribution d'amplitude cumulative avec le temps était déterminée dans diverses bandes spectrales, de 1,2 kHz de largeur, dans le spectre MF d'une émission monophonique ou stéréophonique. La porteuse RF non modulée servait de niveau de référence (0 dB). En raison de la gamme dynamique limitée du dispositif de mesure (valeur type 85 dB), des mesures à des espacements de fréquence atteignant 150 kHz n'ont pu être faites que dans un cas. Comme la porteuse RF en monophonie reste non modulée pendant les pauses du programme, les niveaux tendent vers 0 dB à une différence de fréquence de 0 kHz et pendant de faibles pourcentages de temps. Ce résultat contraste avec celui obtenu avec du bruit coloré.

A partir des distributions d'amplitude mesurées, on peut calculer la puissance contenue dans les bandes de fréquences correspondantes. La distribution de la densité de puissance résultante à l'intérieur du spectre de fréquences d'un émetteur MF, dépendant du mode de modulation et du signal radiophonique simulé, est décrite sur les Fig. 2 et 3. Il faut noter que la densité de puissance n'est pas rapportée à 1 Hz, mais que la courbe identifiée par «eff» est la différence de niveau entre la porteuse RF non modulée et la puissance mesurée à l'intérieur de la largeur de bande de bruit de 1,2 kHz.

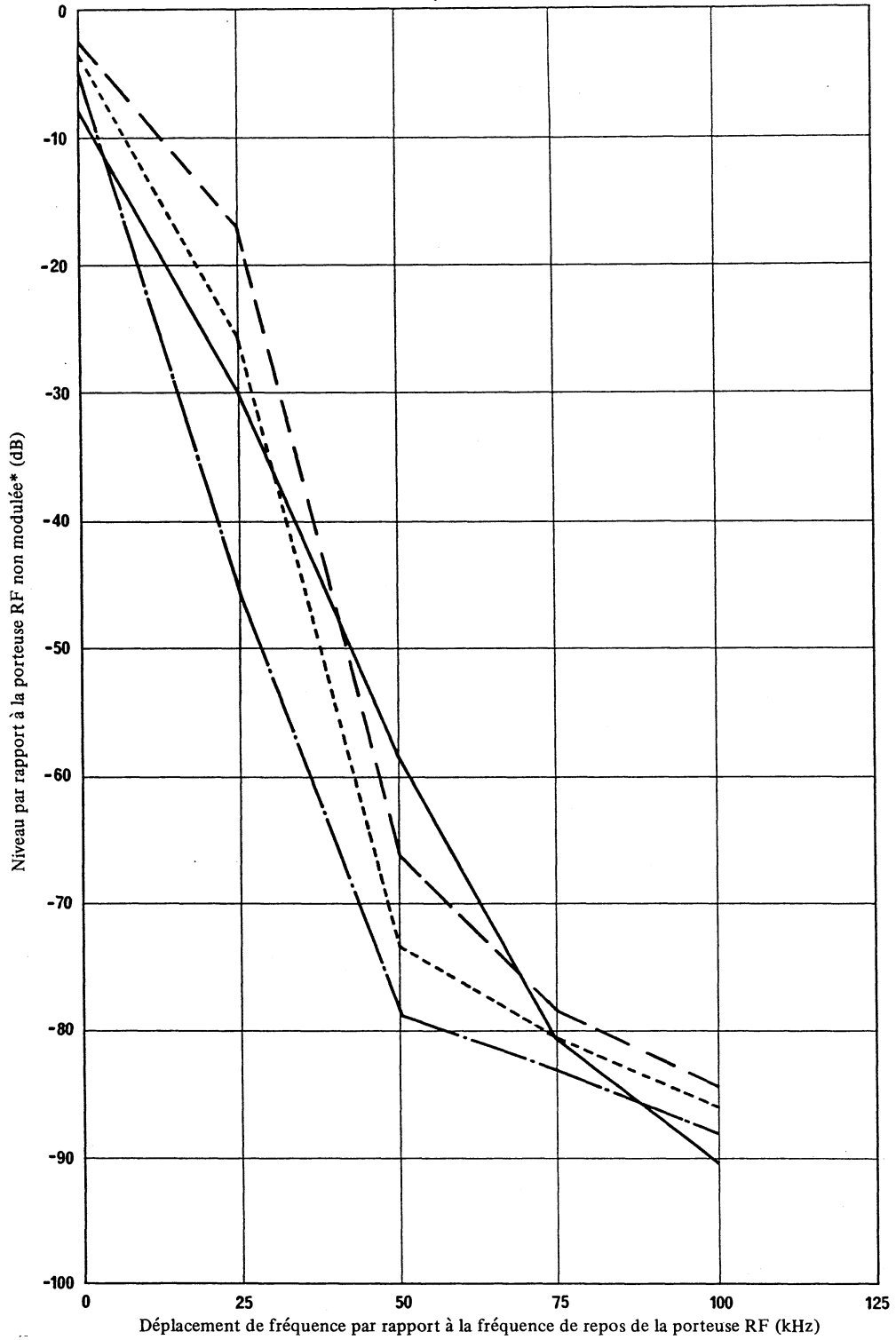


FIGURE 2 – Spectre MF avec programme (mono)

- - - 1% }  
 - - - 3% } temps pendant lequel un niveau est dépassé  
 - - - 10% }  
 ——— eff.: niveau quadratique moyen

\* Mesuré dans une largeur de bande de bruit de 1,2 kHz.

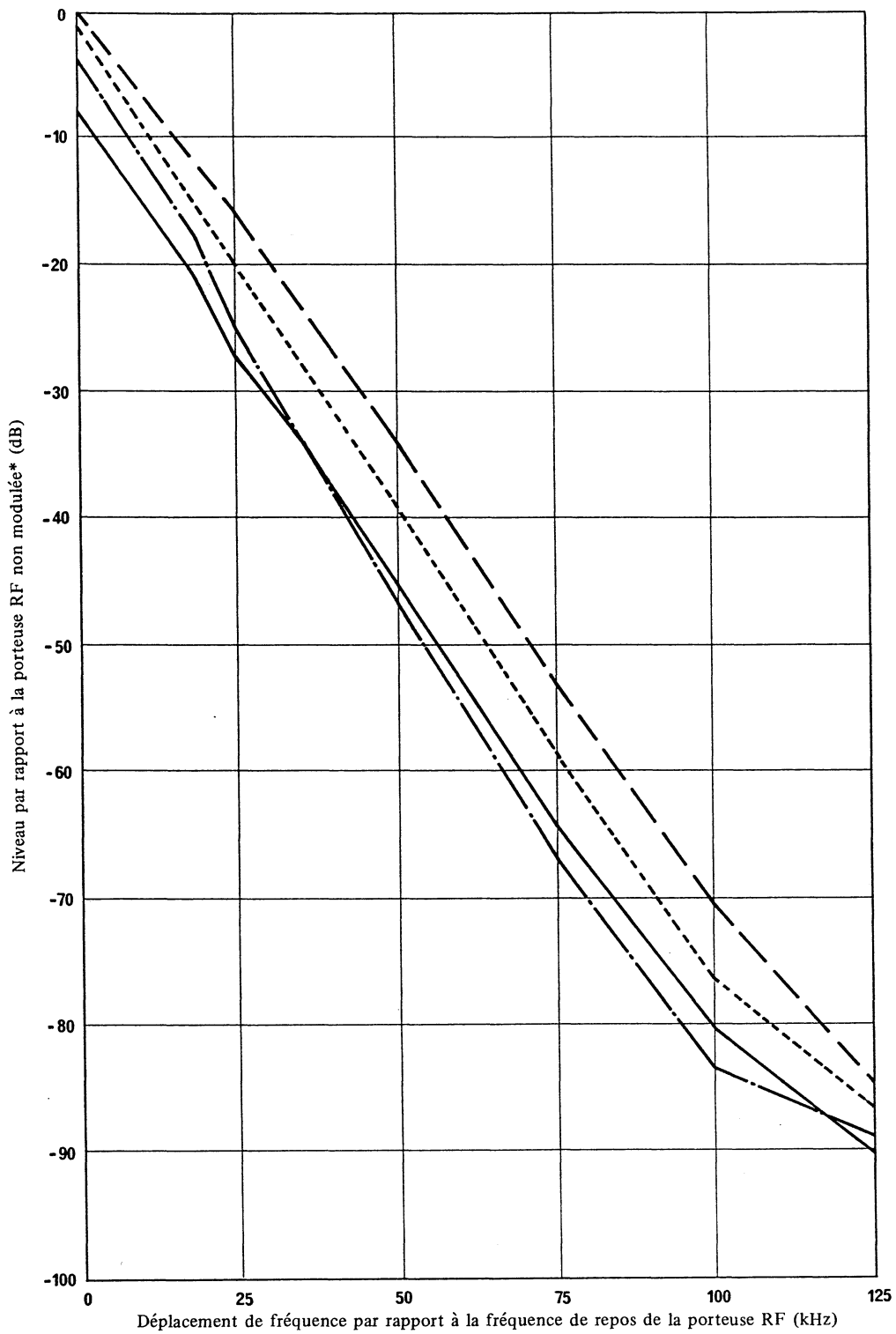
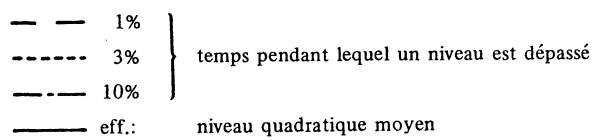


FIGURE 3 – Spectre MF avec programme (stéréo)



\* Mesuré dans une largeur de bande de bruit de 1,2 kHz.

Souvent, ce n'est pas seulement la distribution de la densité de puissance qui est intéressante, mais ce sont aussi les niveaux dépassés ou atteints pendant de faibles pourcentages de temps. On a donc évalué les valeurs correspondant à 1%, 3% et 10% du temps et elles ont servi à tracer les courbes des Fig. 2 et 3.

Une comparaison de ces figures montre bien que pour une modulation stéréophonique, le spectre est plus large que pour une modulation monophonique. Il est utile de mentionner que le spectre de fréquences généré par le programme de radiodiffusion représentatif est beaucoup plus étroit que celui qui est généré par du bruit coloré.

Aux fins de la présente étude, on a supposé que la largeur de bande occupée contient 99%\* (99,9%) de la puissance du signal MF. En calculant la largeur de bande occupée à partir des distributions de la densité spectrale de puissance, on obtient les valeurs suivantes:

- Bruit coloré, mono:  $B_n = 80$  kHz (100 kHz)
- Bruit coloré, stéréo:  $B_n = 74$  kHz (112 kHz)
- Programme, mono:  $B_n = 44$  kHz (62 kHz)
- Programme, stéréo:  $B_n = 50$  kHz (80 kHz)

En général, les spectres pour la modulation stéréophonique sont un peu plus larges que pour la modulation monophonique. Toutefois, avec un bruit coloré, la largeur de bande occupée calculée pour 99% de la puissance est de 6 kHz plus large pour la monophonie que pour la stéréophonie. Cela peut s'expliquer par la façon dont l'énergie est distribuée au voisinage de la porteuse.

Cependant, lorsqu'on examine la largeur de bande nécessaire, c'est-à-dire la largeur de bande qu'il faut pour obtenir une norme de qualité définie (par exemple, de faibles distorsions du signal), on obtient d'autres valeurs. Si l'on accepte, par exemple, qu'en dehors de la largeur de bande nécessaire il peut exister, pendant seulement 1% du temps, des niveaux qui dépassent -60 dB par rapport à la porteuse RF non modulée, condition qui correspond à des distorsions non linéaires  $\leq 0,1\%$ , on obtient les largeurs de bande suivantes:

- Bruit coloré, mono:  $B_n = 147$  kHz
- Bruit coloré, stéréo:  $B_n = 211$  kHz
- Programme, mono:  $B_n = 94$  kHz
- Programme, stéréo:  $B_n = 170$  kHz

Les valeurs de largeur de bande occupée et nécessaire semblent toutes deux relativement petites et les valeurs de la largeur de bande occupée diffèrent des valeurs données ailleurs. Quant à la largeur de bande nécessaire, elle dépend des impératifs de qualité. Si des distorsions plus faibles ou des pourcentages de temps plus petits étaient demandés, cela conduirait à une augmentation de la largeur de bande nécessaire.

Les résultats obtenus peuvent contenir de petites erreurs dues à la précision limitée des mesures. Néanmoins, on voit clairement que la modulation par du bruit coloré conduira à des largeurs de bande occupée et nécessaire plus grandes qu'un signal radiophonique représentatif, pour la monophonie comme pour la stéréophonie.

## 5. Conclusions

Sur la base des résultats de mesure présentés, il est évident que les largeurs de bande RF d'émissions radiophoniques MF sont plus faibles que les largeurs prévisibles d'après des calculs faits avec la règle de Carson. Les résultats obtenus jusqu'à présent ne suggèrent cependant pas de formule plus fiable pour remplacer la règle de Carson. Des mesures et des études théoriques supplémentaires sont nécessaires pour élaborer un modèle fiable décrivant la relation entre des signaux modulateurs types et les valeurs associées de la largeur de bande occupée ou nécessaire en radiodiffusion sonore MF.

Il faut souligner que les résultats des mesures présentés sont encore insuffisants pour permettre de tirer des conclusions en ce qui concerne la spécification de caractéristiques de bande passante de récepteurs MF.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

### *Documents du CCIR*

[1982-86]: a. 10/53 (Allemagne (République fédérale d')).

## BIBLIOGRAPHIE

[1982-86]: 10/47 (Pays-Bas).

\* Sauf indication contraire du CCIR (ce qui n'est pas le cas jusqu'à présent), la valeur de 99% est en accord avec le numéro 147 du Règlement des radiocommunications.