

RECOMMANDATION UIT-R BS.412-8*

**NORMES DE PLANIFICATION POUR LA RADIODIFFUSION SONORE
À MODULATION DE FRÉQUENCE EN ONDES MÉTRIQUES**

(Questions UIT-R 74/10 et UIT-R 101/10)

(1956-1959-1963-1974-1978-1982-1986-1990-1994-1995-1998)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

recommande

d'utiliser les normes de planification suivantes pour la radiodiffusion sonore en ondes métriques à modulation de fréquence (bande 8):

1 Champ minimal utilisable

En présence de brouillages causés par des installations industrielles ou domestiques (pour les limites du rayonnement de ces installations, se référer à la Recommandation UIT-R SM.433 qui indique les Recommandations correspondantes du CISPR), une qualité de service satisfaisante nécessite un champ médian (mesuré à 10 m au-dessus du sol) au moins égal à:

1.1 Pour le service monophonique:

- 48 dB(μ V/m) dans les zones rurales,
- 60 dB(μ V/m) dans les zones urbaines,
- 70 dB(μ V/m) dans les grandes villes;

1.2 Pour le service stéréophonique:

- 54 dB(μ V/m) dans les zones rurales,
- 66 dB(μ V/m) dans les zones urbaines,
- 74 dB(μ V/m) dans les grandes villes.

NOTE 1 – En l'absence de brouillages causés par des installations industrielles ou domestiques, on peut considérer qu'un champ (mesuré à 10 m au-dessus du sol) au moins égal à 34 ou 48 dB(μ V/m) donne, respectivement, une qualité de service monophonique ou stéréophonique acceptable. Ces valeurs de champ s'appliquent lorsqu'une antenne extérieure est utilisée en réception monophonique ou lorsqu'une antenne directive ayant un gain appréciable est utilisée pour la réception stéréophonique (système à fréquence pilote défini dans la Recommandation UIT-R BS.450).

2 Rapports de protection

2.1 Les rapports de protection en radiofréquence, pour une réception satisfaisante en monophonie pendant 99% du temps, sont donnés par la courbe M2 de la Fig. 1 pour les systèmes qui utilisent une excursion maximale de fréquence de ± 75 kHz; dans le cas de brouillage constant, il convient d'assurer une protection plus grande, donnée par la courbe M1 de la Fig. 1 (voir également l'Annexe 1).

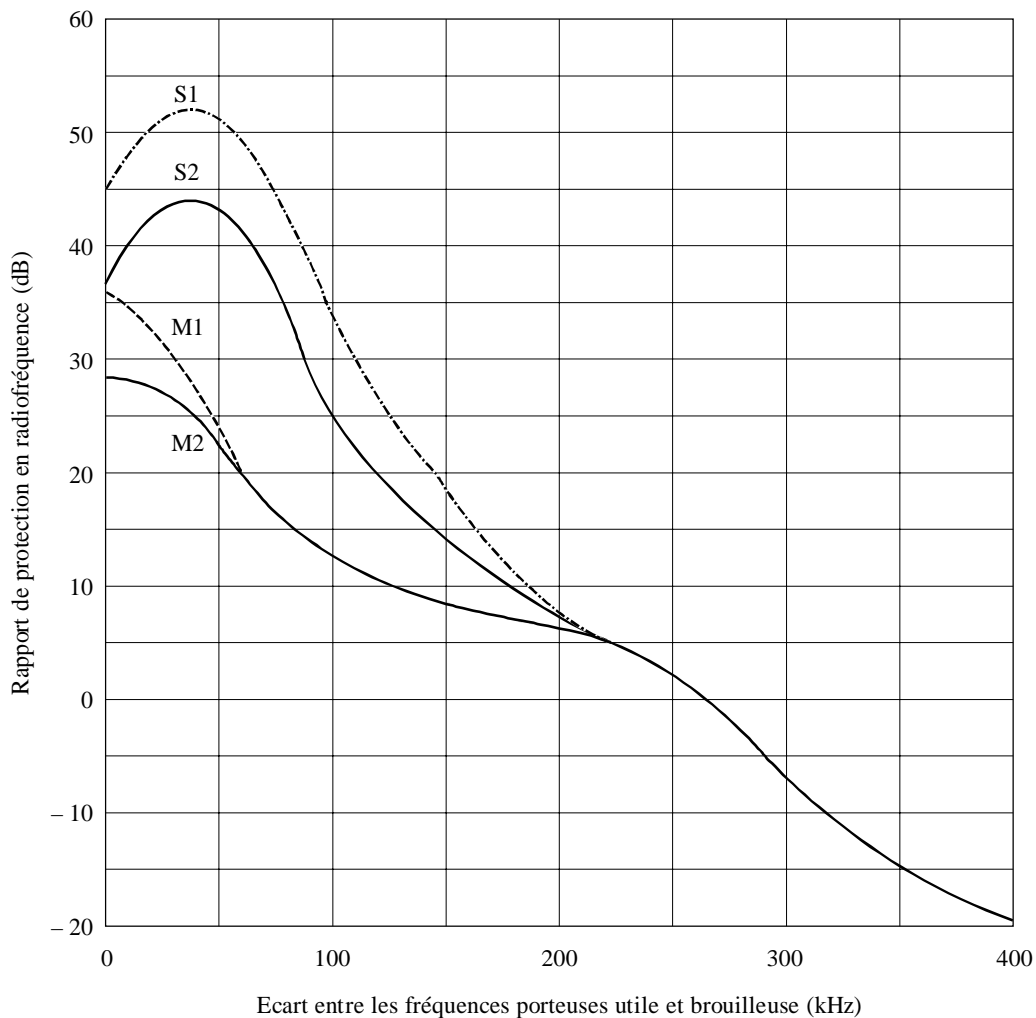
Les rapports de protection sont également donnés dans le Tableau 1 pour des valeurs importantes de l'écart entre les fréquences.

Les valeurs correspondantes pour les systèmes monophoniques qui utilisent une excursion maximale de fréquence de ± 50 kHz sont celles que donnent les courbes M2 et M1 de la Fig. 2 (voir l'Annexe 1). Les rapports de protection sont également donnés dans le Tableau 2 pour des valeurs importantes de l'écart entre les fréquences.

* Cette Recommandation doit être portée à l'attention de la Commission électrotechnique internationale (CEI), pour permettre à celle-ci d'informer les constructeurs de récepteurs à modulation de fréquence en conséquence. La mise en place de services stéréophoniques à modulation de fréquence établis conformément aux normes qui figurent dans cette Recommandation a soulevé de graves difficultés. Il y a lieu d'examiner plus particulièrement les § 2.4 et 2.6 où sont mentionnés les problèmes qui se poseront si les caractéristiques nominales des récepteurs considérés ne dépendent pas aux spécifications.

FIGURE 1

Rapport de protection en radiofréquence pour la radiodiffusion en ondes métriques (bande 8) aux fréquences comprises entre 87,5 et 108 MHz, pour une excursion maximale de fréquence de ± 75 kHz



Courbes M1: radiodiffusion monophonique; brouillage constant
 M2: radiodiffusion monophonique; brouillage troposphérique (protection pendant 99% du temps)
 S1: radiodiffusion stéréophonique; brouillage constant
 S2: radiodiffusion stéréophonique; brouillage troposphérique (protection pendant 99% du temps)

D01

2.2 Les rapports de protection en radiofréquence qui permettent d'obtenir une réception satisfaisante en stéréophonie pendant 99% du temps, pour des émissions utilisant le système à fréquence pilote et une excursion maximale de fréquence de ± 75 kHz, sont donnés par la courbe S2 de la Fig. 1. Dans le cas de brouillage constant (voir l'Annexe 1), il convient d'assurer une protection plus grande, donnée par la courbe S1 de la Fig. 1. Les rapports de protection sont également donnés dans le Tableau 1 pour les valeurs importantes de l'écart entre les fréquences. Les valeurs correspondantes pour les systèmes stéréophoniques qui utilisent une excursion maximale de fréquence de ± 50 kHz sont celles que donnent les courbes S2 et S1 de la Fig. 2. Les rapports de protection sont également donnés dans le Tableau 2 pour des valeurs importantes de l'écart entre les fréquences.

2.3 Les rapports de protection en radiofréquence supposent que l'excursion maximale de fréquence de ± 75 kHz n'est pas dépassée. De plus, on suppose que la puissance du signal multiplex complet (y compris le signal pilote et les signaux supplémentaires) intégrée sur tout intervalle de 60 s, ne dépasse pas la puissance d'un signal multiplex qui contient un signal sinusoïdal unique causant une excursion de crête de ± 19 kHz (voir la Note 4).

TABLEAU 1

Ecart entre les fréquences (kHz)	Rapport de protection en radiofréquence (dB) avec une excursion maximale de fréquence de ± 75 kHz			
	Monophonie		Stéréophonie	
	Brouillage constant	Brouillage troposphérique	Brouillage constant	Brouillage troposphérique
0	36,0	28,0	45,0	37,0
25	31,0	27,0	51,0	43,0
50	24,0	22,0	51,0	43,0
75	16,0	16,0	45,0	37,0
100	12,0	12,0	33,0	25,0
125	9,5	9,5	24,5	18,0
150	8,0	8,0	18,0	14,0
175	7,0	7,0	11,0	10,0
200	6,0	6,0	7,0	7,0
225	4,5	4,5	4,5	4,5
250	2,0	2,0	2,0	2,0
275	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0
300	-7,0	-7,0	-7,0	-7,0
325	-11,5	-11,5	-11,5	-11,5
350	-15,0	-15,0	-15,0	-15,0
375	-17,5	-17,5	-17,5	-17,5
400	-20,0	-20,0	-20,0	-20,0

Il est important de ne pas dépasser les limites indiquées ci-dessus des niveaux de modulation, sans quoi la puissance rayonnée des émetteurs devra être réduite en rapport avec l'augmentation des rapports de protection donnés dans l'Annexe 2.

On trouvera à l'Annexe 4 des exemples de résultats de mesure, indiquant l'excursion maximale de fréquence et la puissance du signal multiplex complet en fonction du temps.

2.4 La valeur du rapport de protection en radiofréquence pour un écart de fréquences égal à 10,7 MHz devrait être inférieure à -20 dB.

Pour des écarts différents, mais supérieurs à 400 kHz, la valeur du rapport de protection doit être nettement inférieure à celle définie ci-dessus.

2.5 Les rapports de protection en radiodiffusion stéréophonique supposent l'utilisation d'un filtre passe-bas en aval du démodulateur MF dans le récepteur, pour réduire l'influence du brouillage et du bruit aux fréquences supérieures à 53 kHz dans le système à fréquence pilote, et supérieures à 46,25 kHz dans le système à modulation polaire. Faute d'un tel filtre, ou d'un dispositif équivalent dans le récepteur, les courbes des rapports de protection en radiodiffusion stéréophonique ne peuvent être respectées, et des brouillages importants par les canaux adjacents ou voisins sont possibles.

2.6 Dans le cas des récepteurs MA-MF, il est nécessaire de prendre des dispositions pour que les circuits à fréquence intermédiaire en MA (généralement à 450-470 kHz) n'entraînent pas de dégradation des rapports de protection quand le récepteur fonctionne en modulation de fréquence, en particulier, pour des écarts de fréquence entre la porteuse utile et la porteuse brouilleuse supérieurs à 300 kHz.

2.7 En cas d'introduction de systèmes de données ou d'autres systèmes donnant des informations supplémentaires, ceux-ci ne doivent pas causer un brouillage des services monophoniques et stéréophoniques dépassant le niveau autorisé par les courbes de rapport de protection de la Fig. 1. On estime qu'il n'est pas possible, dans la planification, d'accorder une protection supplémentaire aux services de données ou à d'autres services transmettant des signaux d'information supplémentaires.

NOTE 1 – Les courbes des rapports de protection de la Fig. 1 ont été établies initialement par évaluation subjective des effets du brouillage. Comme les essais subjectifs sont assez longs, on a mis au point une méthode de mesure objective (voir l'Annexe 1 à la Recommandation UIT-R BS.641) et on a obtenu des résultats qui concordent assez bien avec ceux des essais subjectifs.

NOTE 2 – Pour déterminer les caractéristiques du filtre dont la réponse en phase présente une certaine importance pour assurer la séparation entre voies aux fréquences audio élevées, il faut se référer à l'Annexe III à la Recommandation UIT-R BS.644.

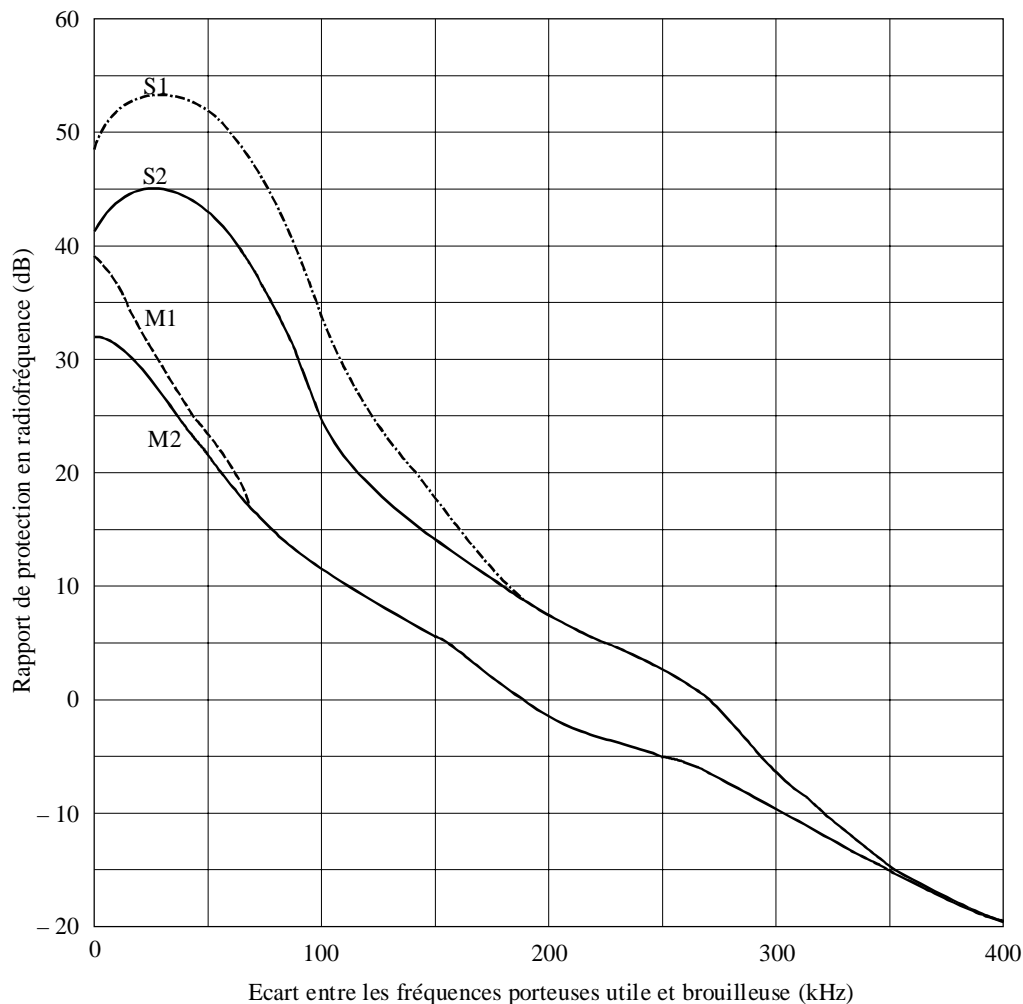
NOTE 3 – Les rapports de protection en cas de brouillage constant donnent un rapport signal/bruit d'environ 50 dB (mesure de quasi-crête pondérée conforme à la Recommandation UIT-R BS.468, avec signal de référence pour l'excursion maximale de fréquence). Voir également l'Annexe 1 à la Recommandation UIT-R BS.641.

NOTE 4 – La puissance d'un signal sinusoïdal causant une excursion de crête de ± 19 kHz est égale à la puissance du signal de modulation de bruit coloré défini dans la Recommandation UIT - R BS.641, c'est-à-dire un signal de bruit coloré causant une excursion quasi-crête de ± 32 kHz.

NOTE 5 – Pour l'isofréquence et l'isomodulation, avec des signaux synchronisés, les rapports de protection pour des signaux monophoniques sont beaucoup plus faibles que ceux de la Fig. 1. Dans le cas de signaux stéréophoniques, les rapports de protection dépendent du temps de propagation et du contenu stéréophonique (voir l'Annexe 3).

FIGURE 2

Rapports de protection en radiofréquence pour la radiodiffusion en ondes métriques (bande 8), pour une excursion maximale de fréquence de ± 50 kHz



- Courbes M1: radiodiffusion monophonique; brouillage constant
 M2: radiodiffusion monophonique; brouillage troposphérique (protection pendant 99% du temps)
 S1: radiodiffusion stéréophonique; brouillage constant
 S2: radiodiffusion stéréophonique; brouillage troposphérique (protection pendant 99% du temps)

Les valeurs des courbes S1 et S2 s'appliquent aussi bien au système à fréquence pilote qu'au système à modulation polaire.

TABLEAU 2

Ecart entre les fréquences (kHz)	Rapport de protection en radiofréquence (dB) avec une excursion maximale de fréquence de ± 50 kHz			
	Monophonie		Stéréophonie	
	Brouillage constant	Brouillage troposphérique	Brouillage constant	Brouillage troposphérique
0	39,0	32,0	49,0	41,0
25	32,0	28,0	53,0	45,0
50	24,0	22,0	51,0	43,0
75	15,0	15,0	45,0	37,0
100	12,0	12,0	33,0	25,0
125	7,5	7,5	25,0	18,0
150	6,0	6,0	18,0	14,0
175	2,0	2,0	12,0	11,0
200	-2,5	-2,5	7,0	7,0
225	-3,5	-3,5	5,0	5,0
250	-6,0	-6,0	2,0	2,0
275	-7,5	-7,5	0	0
300	-10,0	-10,0	-7,0	-7,0
325	-12,0	-12,0	-10,0	-10,0
350	-15,0	-15,0	-15,0	-15,0
375	-17,5	-17,5	-17,5	-17,5
400	-20,0	-20,0	-20,0	-20,0

3 Espacement des canaux

Les canaux doivent être assignés de telle sorte:

- que les fréquences porteuses qui définissent la position nominale des canaux RF dans la bande soient des multiples de 100 kHz;
- qu'un espacement uniforme de 100 kHz entre les canaux soit appliqué aux émissions monophoniques et aux émissions stéréophoniques.

NOTE 1 – Dans le cas où un espacement de 100 kHz entre canaux serait difficile à réaliser, un espacement correspondant à un multiple de 100 kHz serait également acceptable, sous réserve que les fréquences porteuses soient choisies conformément au § 3.1 ci-dessus.

ANNEXE 1

Pour appliquer les courbes du rapport de protection des Fig. 1 et 2, il est indispensable de déterminer si, dans les circonstances particulières, il convient de considérer le brouillage comme constant ou troposphérique. A cet égard, un critère valable est fourni par le concept de "champ perturbateur" qui est le champ de l'émetteur brouilleur (à la p.a.r. correspondante) augmenté par le rapport de protection approprié.

Par conséquent, le champ perturbateur pour un brouillage constant:

$$E_c = P + E(50,50) + A_c$$

et le champ perturbateur pour un brouillage troposphérique:

$$E_t = P + E(50,T) + A_t$$

où:

P : p.a.r. (dB(1 kW)) de l'émetteur brouilleur

A : rapport de protection en radiofréquence (dB)

$E(50, T)$: champ (dB(μ V/m)) de l'émetteur brouilleur, normalisé à 1 kW et dépassé pendant $T\%$ du temps,

et où les indices c et t indiquent un brouillage constant ou troposphérique, respectivement.

La courbe du rapport de protection pour un brouillage constant est applicable lorsque le champ perturbateur est supérieur à celui qui provient d'un brouillage troposphérique, c'est-à-dire $E_c \geq E_t$

Ce qui signifie que A_c devra être utilisé dans tous les cas lorsque:

$$E(50,50) + A_c \geq E(50,T) + A_t$$

ANNEXE 2

Cas particuliers de brouillages en radiodiffusion MF**1 Brouillage causé par un émetteur surmodulé**

Des mesures en laboratoire ont été réalisées en France afin d'évaluer la sensibilité au brouillage de plusieurs récepteurs dans le cas où l'émetteur brouilleur est surmodulé.

Les mesures de brouillages sont décrites dans l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R BS.641, pour un signal stéréophonique et avec un niveau RF utile à l'entrée du récepteur égal à -50 dB(mW) (0,7 mV/50 Ω).

Les bandes passantes à -3 dB et -40 dB du filtre RF inséré à la sortie de l'émetteur brouilleur étaient respectivement de 500 et 2 600 kHz.

Deux valeurs de surmodulation ont été utilisées: $+3$ dB et $+6$ dB. On a constaté que, lorsque le signal brouilleur est situé dans la bande passante du récepteur, l'accroissement du rapport de protection est indépendant du type de récepteur; ainsi pour un écart entre les fréquences porteuses de 100 kHz, le rapport de protection croît de 11 et 15 dB respectivement pour un accroissement du taux de modulation de 3 et 6 dB.

Par ailleurs, on a constaté que, dans le cas du brouillage avec un décalage en fréquence (non normalisé) de la porteuse de 150 kHz, la variation du rapport de protection peut atteindre 6 dB pour une variation de 1 dB du taux de modulation de l'émetteur brouilleur.

2 Brouillage causé par des écarts de fréquence élevés

Des essais ont également été effectués en France dans les mêmes conditions que celles indiquées au § 1 ci-dessus, afin d'évaluer l'effet des brouillages dans les cas où les fréquences d'émission sont très différentes.

Dans ce cas, les mesures ont été réalisées avec un émetteur brouilleur modulé normalement et pour un décalage en fréquence de la porteuse allant jusqu'à 1 MHz. Les mesures ont montré qu'au-delà de 400 kHz, les rapports de protection ne dépendent absolument plus du fait que l'émetteur brouilleur soit, ou non, modulé.

Avec un récepteur de type professionnel, les rapports de protection diminuent lorsque l'on insère un filtre RF à bande étroite (bande passante à -40 dB de 1 200 kHz), à la sortie de l'émetteur brouilleur. Cela prouve que la réception est perturbée uniquement par le bruit résiduel contenu dans les bandes latérales de la porteuse brouilleuse.

Par contre, pour les récepteurs grand public utilisés, les rapports de protection restent presque constants, à partir de 400 kHz et leur valeur, environ -40 dB, est pratiquement indépendante du type de filtrage inséré sur la porteuse brouilleuse. Dans ce cas, c'est seulement la présence de cette dernière qui détériore la réception, les causes de la perturbation pouvant être multiples: désensibilisation de l'étage d'entrée, entraînement de l'oscillateur local ou autres phénomènes.

3 Brouillage causé par le non-respect du rapport de protection

Des essais ont été réalisés en France sur trois récepteurs (un récepteur professionnel, un récepteur semi-professionnel et un récepteur grand public) dans le cas d'un rapport de protection non respecté.

Pour les trois récepteurs, les mesures de brouillage ont été réalisées en monophonie et en stéréophonie, avec un niveau RF utile à l'entrée du récepteur égal à -50 dB(mW) ($0,7$ mV/50 Ω) et pour des décalages de fréquence positifs. Les conditions d'essai de la Recommandation UIT-R BS.641 ont été respectées sauf en ce qui concerne le rapport des signaux utile/brouilleur AF qui a été pris égal à 50 dB (valeur de la Recommandation UIT-R BS.641), 40 dB et 30 dB.

Des mesures similaires ont été effectuées en République fédérale d'Allemagne sur 31 récepteurs grand public de différentes catégories de prix (prix modique, prix moyen et prix élevé), mais avec des rapports signal/brouillage en audiofréquence de 47, 50, 53, 56 et 59 dB.

On a constaté que pour un écart de fréquence inférieur ou égal à 50 kHz en monophonie et à 100 kHz en stéréophonie, une augmentation du niveau du signal brouilleur (exprimée en dB) conduit à une diminution analogue du rapport signal/bruit à la sortie du récepteur.

Par ailleurs, pour des écarts de fréquence supérieurs à ces valeurs mais inférieurs à 250 kHz environ, un très faible accroissement du brouillage RF peut provoquer une détérioration considérable de la qualité de réception, ce phénomène étant d'ailleurs plus marqué en monophonie qu'en stéréophonie. Il est donc nécessaire de prévoir dans ce cas, lors de la conception, une marge substantielle pour tenir compte des aléas de propagation, des trajets multiples, des obstacles, etc. Sur la base des résultats obtenus, une marge d'environ 10 dB ne paraît pas exagérée. Compte tenu du nombre réduit et du type de récepteurs ayant fait l'objet de ces essais, il conviendrait de réaliser des études complémentaires.

4 Rapports de protection RF pour différents niveaux du signal utile

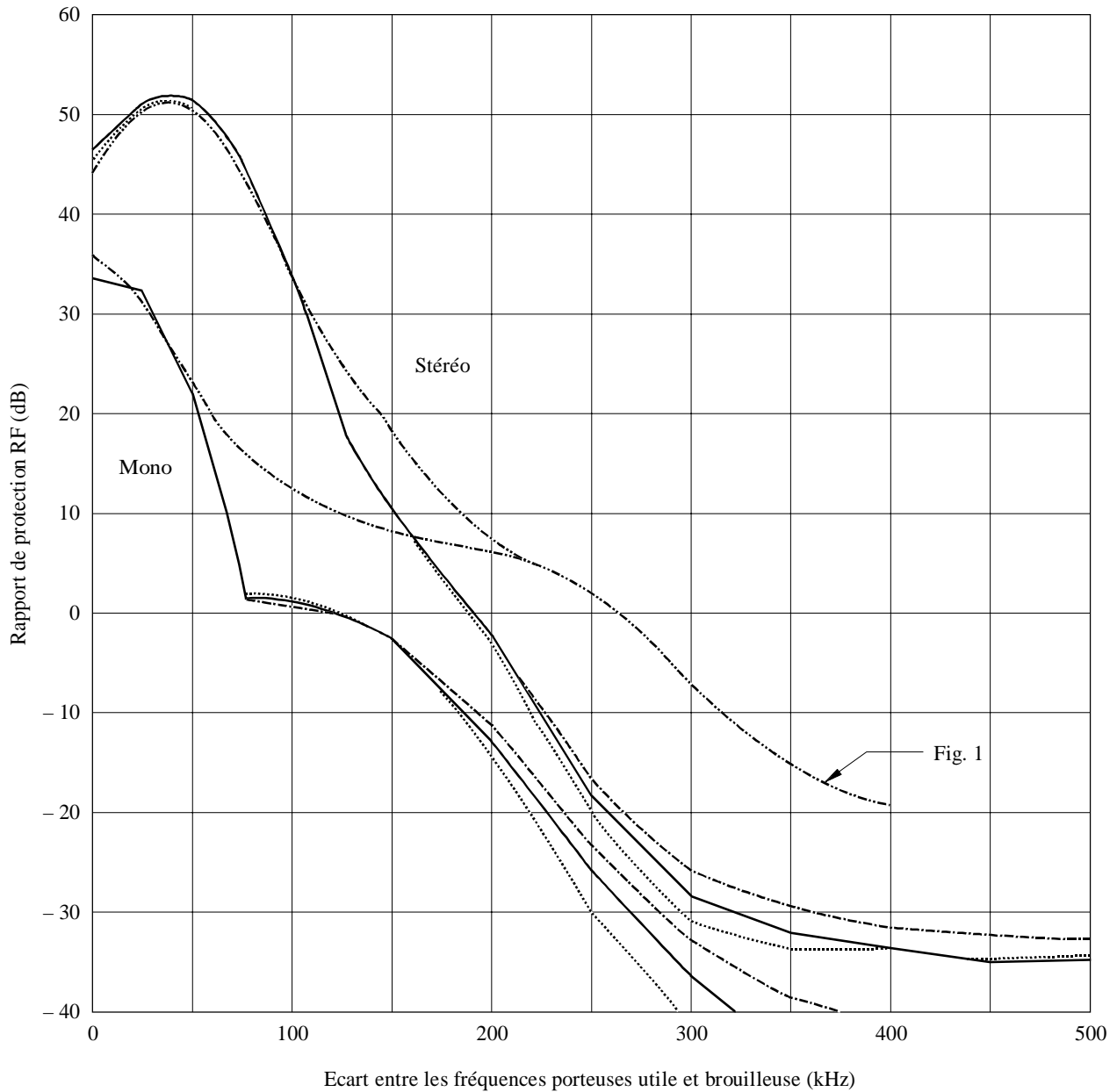
Des mesures ont été effectuées en République fédérale d'Allemagne pour évaluer l'influence du niveau du signal utile sur des rapports de protection RF. Les rapports de protection de 31 récepteurs domestiques et de 16 autoradios de catégories de prix différentes ont été mesurés avec différents niveaux de signal utile.

Les mesures ont été faites conformément à la Recommandation UIT-R BS.641. On a utilisé pour le signal utile des niveaux d'entrée de 30, 40 et 50 dB(pW).

Les courbes des valeurs moyennes du rapport de protection RF mesuré sont données dans les Fig. 3 et 4. Chaque Figure représente les courbes pour la réception en stéréophonie et en monophonie. Aux fins de comparaison, on a tracé aussi la courbe du rapport de protection RF pour le brouillage constant conformément à la Recommandation UIT-R BS.412. La Fig. 3 donne les courbes pour les récepteurs domestiques et la Fig. 4 présente les résultats équivalents pour les récepteurs d'automobile.

FIGURE 3

Rapports de protection RF pour différentes puissances d'entrée
Récepteurs domestiques

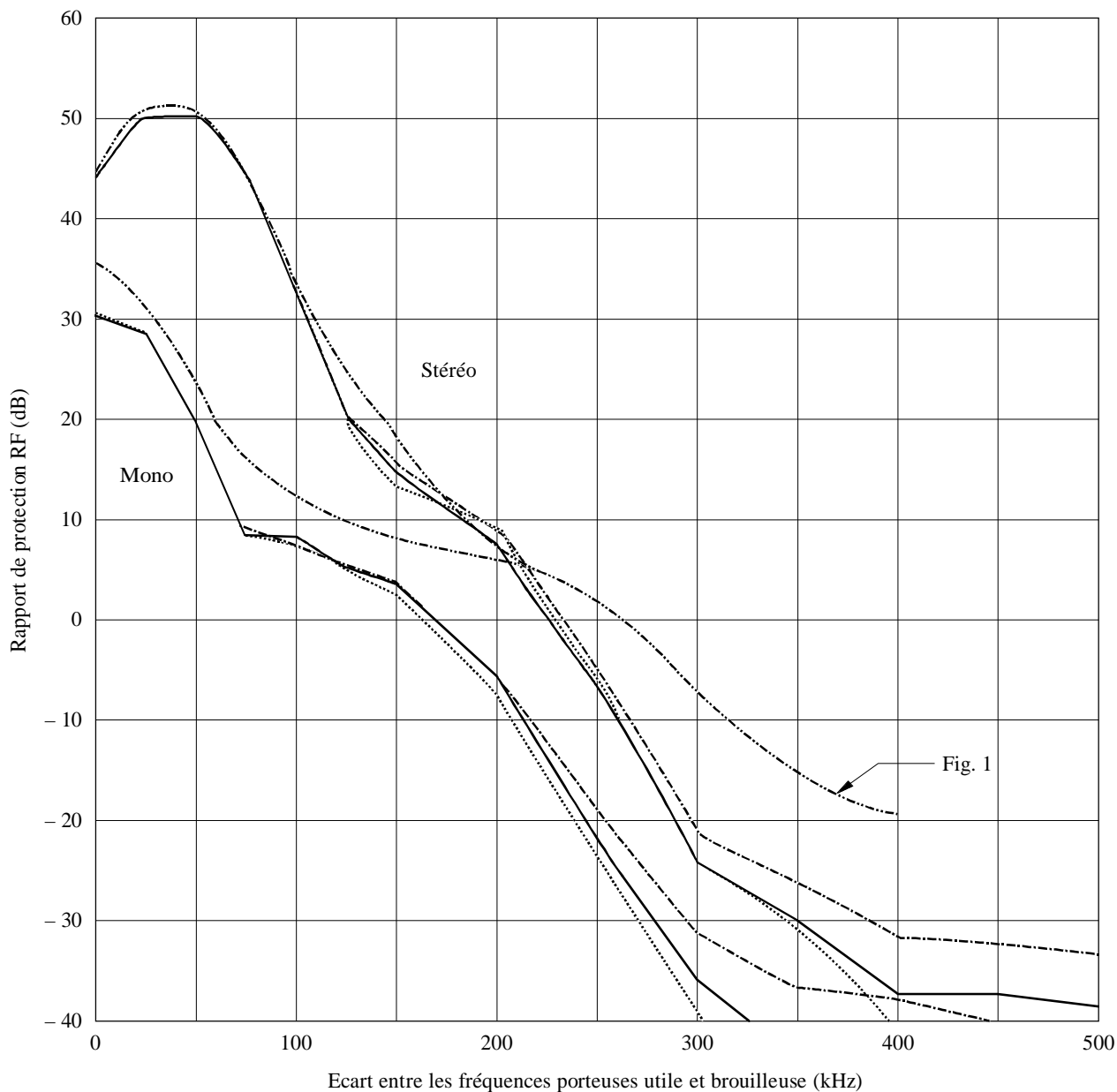


Courbes	Puissance à l'entrée (dB(pW))	Nombre de récepteurs
-----	50	31 stéréo/31 mono
—————	40	31 stéréo/31 mono
.....	30	26 stéréo/31 mono

D03

On voit d'après les résultats obtenus que l'influence du niveau du signal utile sur le rapport de protection RF mesuré n'est pas aussi forte que prévu, du moins si l'on tient compte des valeurs moyennes et non des récepteurs pris individuellement. Lorsqu'on porte le niveau du signal utile de 40 à 50 dB(pW), le rapport de protection RF mesuré augmente d'au plus 5 dB pour la réception en stéréophonie sur appareil domestique. Pour les récepteurs d'automobile, l'accroissement est légèrement supérieur à 5 dB. Pour la réception en monophonie, l'accroissement du rapport de protection RF mesuré pour un écart des porteuses supérieur à 300 kHz est légèrement supérieur à 5 dB (jusqu'à 9 dB). Dans ce cas, cependant, le rapport des niveaux de signal utile/brouilleur se situe déjà considérablement en dessous du rapport de protection RF.

FIGURE 4
 Rapports de protection RF pour différentes puissances d'entrée
 Récepteurs d'automobile



Courbes	Puissance à l'entrée (dB(pW))	Nombre de récepteurs
-----	50	10 stéréo/16 mono
—————	40	10 stéréo/16 mono
.....	30	8 stéréo/16 mono

D04

5 Brouillage causé par l'intermodulation de signaux RF de niveau élevé

Une étude sur la tendance à l'intermodulation, en présence de signaux de niveau élevé, des récepteurs à MF pour usage domestique ou pour automobiles a été réalisée en République fédérale d'Allemagne, avec trois signaux RF, et les résultats sont présentés sous forme de rapports de protection.

Trente et un récepteurs à usage domestique et seize autoradios appartenant à différentes catégories de prix ont été testés. Deux signaux brouilleurs de niveau égal ont été placés à égale distance au-dessus ou au-dessous de la fréquence du signal utile, c'est-à-dire:

$$\Delta f = f_w - f_{i2} = f_{i2} - f_{i1}$$

ou

$$\Delta f = f_{i2} - f_w = f_{i1} - f_{i2}$$

Le signal brouilleur f_{i2} n'est pas modulé, mais le signal brouilleur f_{i1} est modulé avec un bruit coloré conformément à la Recommandation UIT-R BS.641. Les rapports de protection ont été mesurés conformément à la Recommandation UIT-R BS.641, la seule différence étant que les deux signaux brouilleurs ont été appliqués comme mentionné ci-dessus. Les valeurs moyennes des rapports de protection des signaux dits "forts" pour la réception en stéréophonie et en monophonie par des récepteurs à usage domestique et pour automobiles sont indiquées dans les Fig. 5 à 8, l'écart type des récepteurs testés, étant compris entre 5 et 7 dB.

FIGURE 5

Rapports de protection en présence de signaux forts pour des récepteurs à usage domestique et pour différents niveaux de signal utile – stéréo

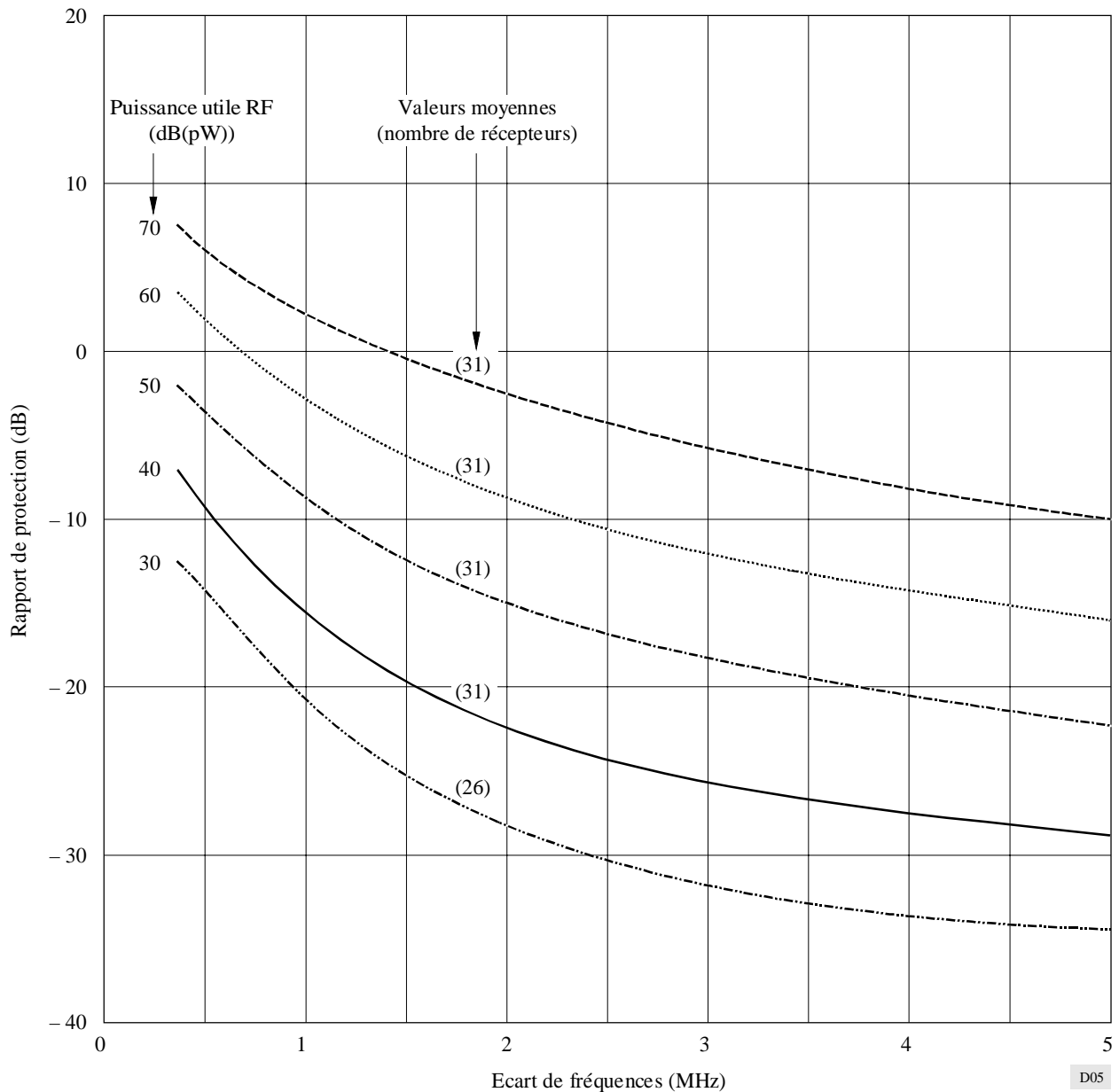


FIGURE 6
 Rapport de protection en présence de signaux forts pour des récepteurs à usage domestique et différents niveaux de signal utile – mono

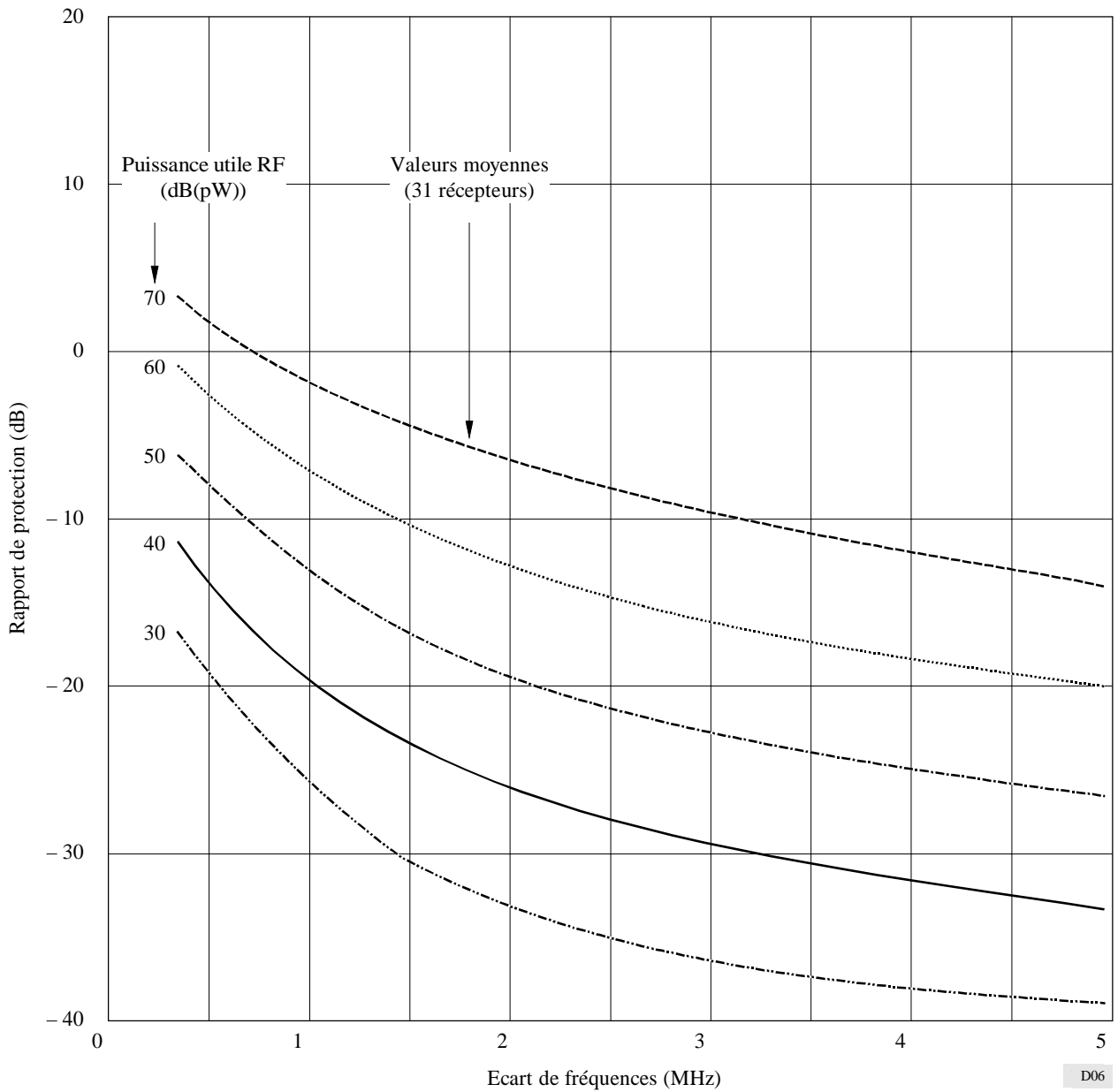


FIGURE 7

Rapports de protection en présence de signaux forts pour des récepteurs d'automobile et différents niveaux de signal utile – stéréo

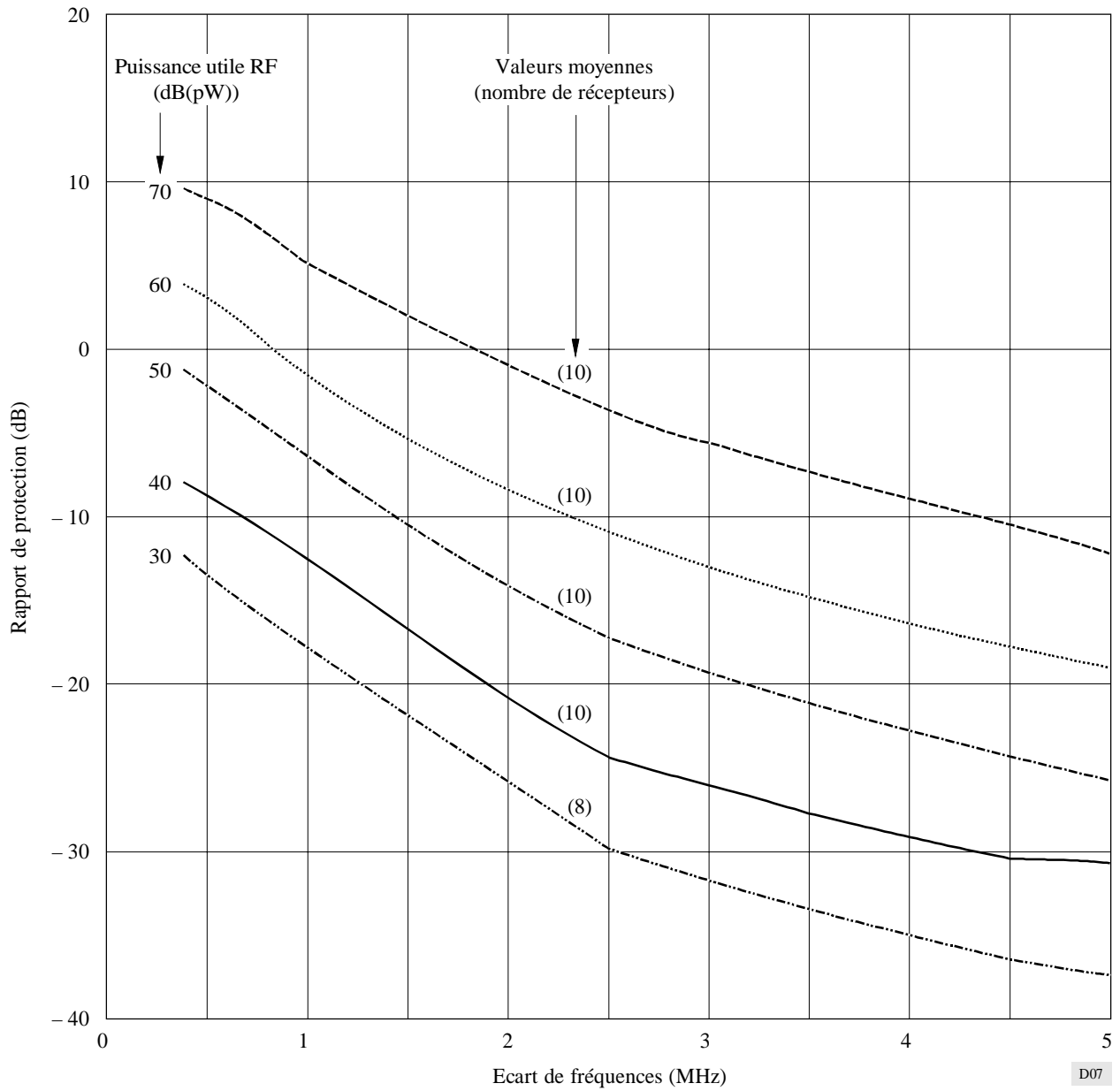
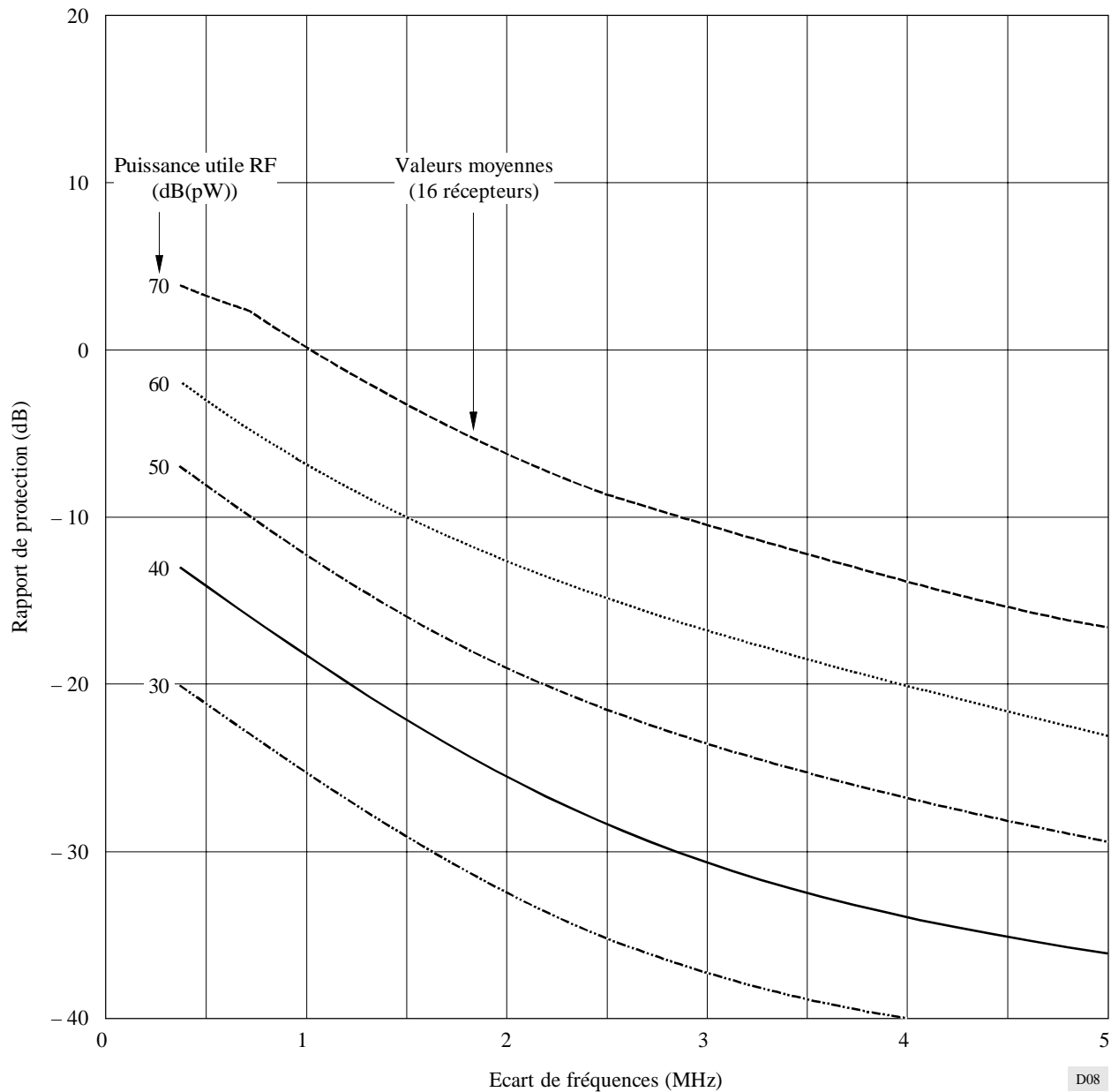


FIGURE 8

**Rapport de protection en présence de signaux forts pour des récepteurs
d'automobile et différents niveaux de signal utile – mono**



ANNEXE 3

**Rapports de protection pour la radiodiffusion sonore à modulation de fréquence dans
le cas où le brouillage provient du même programme et de signaux synchronisés**

1 Introduction

Dans le cas d'un fonctionnement sur une même fréquence, si l'émetteur brouilleur diffuse le même programme que l'émetteur utile, on peut s'attendre à ce que les valeurs applicables du rapport de protection soient inférieures à celles données dans la Fig. 1 pour le cas général. Si, de plus, les signaux utile et brouilleur sont identiques (programme, fréquence et taux de modulation), avec seulement une légère différence de niveau et un retard temporel, le signal brouilleur apparaît comme un écho du signal utile, ce qui réduit encore la dégradation.

La qualité de réception est aussi influencée par la différence de phase entre le signal utile et le signal brouilleur.

Les rapports de protection ont été évalués en France et en Italie dans ce cas particulier, où la synchronisation de l'émetteur brouilleur sur l'émetteur utile permet de garantir l'identité des phases instantanées des deux signaux.

2 Conditions de mesures

2.1 Montage

Le montage réalisé pour les essais devait permettre de simuler la réception d'un signal résultant de la combinaison des champs créés par deux émetteurs synchrones. Les paramètres à prendre en compte sont:

- la différence de niveau entre les signaux reçus des deux émetteurs;
- le retard entre le signal utile et le signal brouilleur;
- le fonctionnement monophonique ou stéréophonique des émetteurs (le cas de la présence d'une sous-porteuse RDS n'a pas été considéré);
- le déphasage entre les signaux reçus.

Les mesures effectuées en France et en Italie étaient fondées sur les mêmes principes. Un signal RF modulé en fréquence par une source audiofréquence de haute qualité (disque compact) était injecté dans deux canaux distincts: un de ces canaux était équipé de telle manière que l'on pouvait faire varier l'affaiblissement et le retard temporel du signal par paliers successifs, avant de recombinaison les deux signaux.

Pour les essais français, on utilisait un récepteur stéréo MF professionnel; pour les essais italiens, un récepteur stéréo MF de bonne qualité grand public.

2.2 Evaluation

Les brouillages faisant apparaître à la fois du bruit et de la distorsion, une procédure d'évaluation subjective utilisant l'échelle de dégradation à 5 notes de l'UIT-R a donc été choisie.

2.2.1 Pour les mesures effectuées en France, des essais préliminaires ont montré que la parole était plus critique que la musique pour les essais. Par conséquent un "échantillon de parole" a été retenu comme signal test. Sa durée, de 20 s, permettait d'évaluer la dégradation dans la configuration de phase la plus défavorable.

Pour permettre d'explorer de façon pratique toutes les configurations de phase, on a choisi de décaler les fréquences d'émission utile et brouilleuse de 0,1 Hz (déphasage de 360° en 10 s).

La tâche des cinq auditeurs qui ont participé aux essais consistait à noter la dégradation, par rapport à la référence, de 30 échantillons correspondant aux 30 configurations sélectionnées, qui elles-mêmes combinaient les modes de fonctionnement (mono/stéréo), les valeurs de retard (2, 5 et 10 μ s), et cinq valeurs du rapport des niveaux d'entrée signal utile/brouilleur (choisis en fonction des autres paramètres).

A partir des notes obtenues, on a déterminé les valeurs des rapports de protection correspondant aux notes 3 et 4 de l'échelle de dégradation.

2.2.2 Dans les mesures faites en Italie, on a adopté trois types de séquence: solo de piano, solo de violon et musique moderne. Le piano solo s'est révélé comme le type de modulation le plus critique, la musique moderne comme le plus tolérant.

Quatre valeurs de retard ont été étudiées: 5, 10, 20 et 40 μ s. Pour chaque valeur de retard et chaque type de séquence, le rapport de protection correspondant à la note 4 de l'échelle de dégradation était déterminé par quatre groupes d'auditeurs experts, chaque groupe étant formé de 12 personnes.

Lors de ces essais subjectifs, le décalage de phase RF a été ajusté chaque fois, afin d'obtenir les conditions de distorsion maximale.

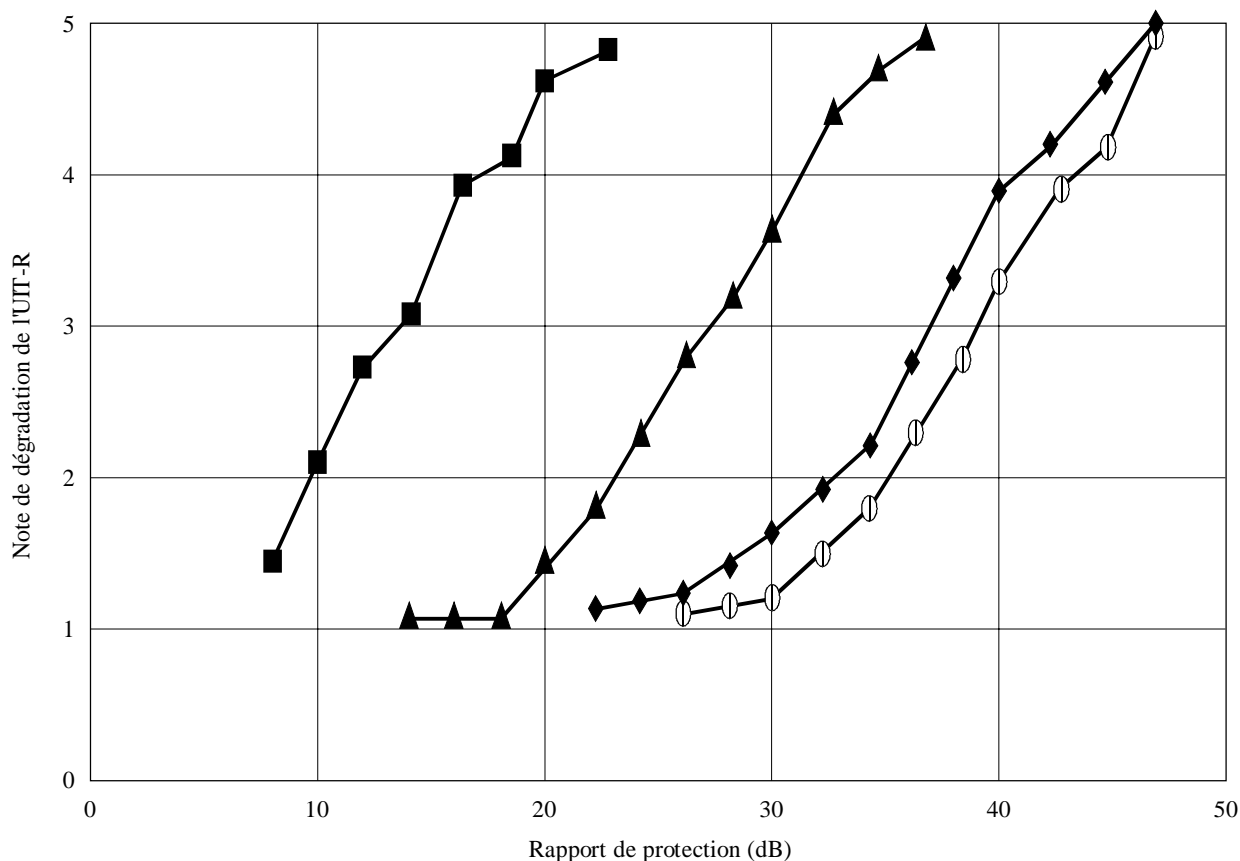
Il a également été observé que les résultats de dégradation sont proportionnels à la profondeur de modulation, en sorte que l'on s'est attaché à ne pas dépasser les limites de modulation correcte.

Des essais supplémentaires en mode stéréophonique ont été réalisés en Italie, en utilisant des retards et des types de séquence différents puisque ces deux paramètres jouent fortement sur le rapport de protection. On a employé les trois types de séquence suivants: piano stéréo, parole avec le niveau A > niveau B et basse lyrique sur la voie A seulement; et les 4 valeurs de retard suivantes: 13,2, 39,5, 197,4 et 802,6 μ s.

La valeur du retard a été choisie en tenant compte du déphasage de la fréquence pilote, à 19 kHz entre les signaux utile et brouilleur. On a vérifié expérimentalement que la dégradation la plus importante se produit lorsque le retard est un multiple impair d'un quart de la période du signal pilote, soit un déphasage de $\pm 90^\circ$ entre le signal pilote utile et brouilleur.

La Fig. 9 représente l'évaluation du taux de dégradation en fonction du rapport de protection pour chaque retard et pour le piano stéréo. Réciproquement, la Fig.10 représente cette même évaluation pour un retard fixé à 13,2 ms, et pour les trois types de modulation.

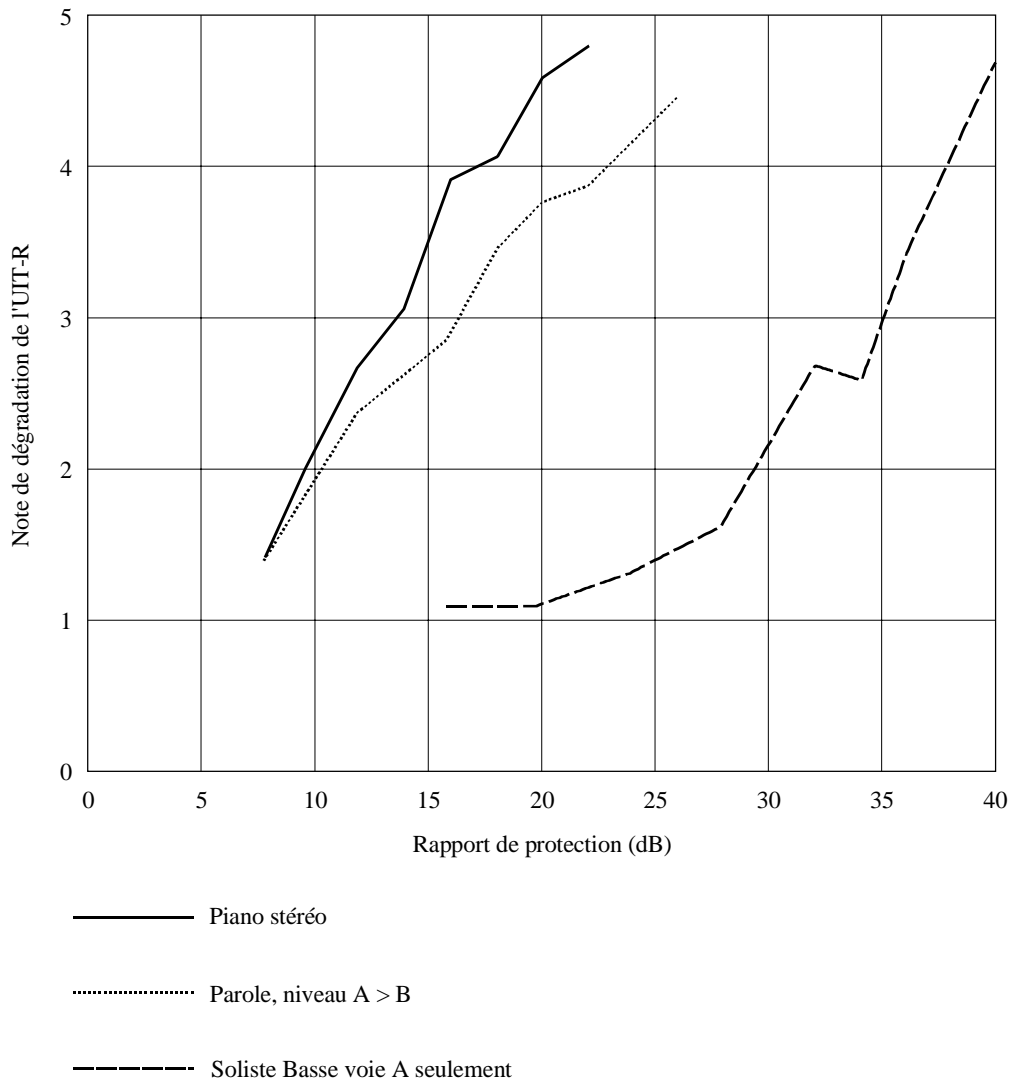
FIGURE 9
Rapport de protection en stéréophonie, isofréquence et isomodulation pour une modulation de piano stéréo



- 13,2 μ s
- ▲ 39,5 μ s
- ◆ 197,4 μ s
- 802,6 μ s

FIGURE 10

**Rapport de protection en stéréophonie, isofréquence
et isomodulation pour un retard de 13,2 μ s**



0412-10

On a procédé à des évaluations subjectives conformément à la Recommandation UIT-R BS.562, en utilisant la méthode du double stimulus et l'échelle de dégradation à 5 notes. La présentation des échantillons sonores préenregistrés dans les différentes combinaisons isofréquence, et l'acquisition des notes étaient gérés par un logiciel complexe, conçu au Centre de recherche de la RAI dans le cadre général d'essais subjectifs de la qualité vidéo. Chaque échantillon était évalué par un groupe de 16 personnes non expertes par groupe de deux personnes au moins.

La différence de phase entre les signaux de modulation n'a pas été prise en compte, dans la mesure où les évaluations ont été faites avec une seule source alimentant deux canaux distincts.

3 Résultats et analyse

3.1 Comparaison entre les modes monophoniques et stéréophoniques

Les essais effectués en France (mono et stéréo) et en Italie (mono) ont donné des résultats parfaitement concordants, si l'on compare les résultats qui correspondent aux types de modulation les plus critiques utilisés ("parole" et "piano solo" respectivement). Les résultats fournis par les deux séries d'essais sont résumés dans le Tableau 3, pour les deux modes de fonctionnement (mono et stéréo) et pour les valeurs de retard considérées.

TABLEAU 3

Retard (ms)	Rapports de protection (dB)			
	Monophonie		Stéréophonie	
	Note de dégradation		Note de dégradation	
	3	4	3	4
2	<1	1	4	6
5	1	2	10	12
10	1	3	14	16
20	Non évalué	11	Non évalué	Non évalué
40	Non évalué	20	Non évalué	Non évalué

Les chiffres inscrits dans ce Tableau correspondent aux valeurs les plus défavorables obtenues en essais.

Les résultats en monophonie peuvent être considérés comme sûrs; par contre les résultats obtenus en stéréophonie ne sont qu'indicatifs car basés sur un nombre restreint d'évaluations subjectives. On peut noter que:

- dans le cas le plus favorable (monophonie, retard de 2 μ s), le rapport de protection est très proche de 0 dB avec des émetteurs synchronisés;
- le retard entre signaux utile et brouilleur crée des zéros dépendant de la fréquence, la situation s'aggravant lorsque ce retard s'accroît. Les signaux stéréophoniques y sont plus sensibles à ce phénomène;
- pour des retards temporels allant jusqu'à 5 μ s, le rapport de protection est indépendant du type de séquence; si l'on augmente le retard, le rapport de protection devient fonction du type de séquence.

3.2 Résultats et considérations pour le mode stéréophonique

Les Fig. 9 et 10 montrent les résultats de l'étude faite en Italie pour le mode stéréophonique. Ils dépendent beaucoup, à la fois du retard entre le signal utile et le signal brouilleur, et du contenu stéréophonique. En effet, la Fig. 9 indique une différence de plus de 10 dB entre les courbes avec 13,2 et 39,5 μ s de retard respectivement; la Fig. 10 indique une variation d'environ 20 dB avec des contenus stéréophoniques différents.

4 Mise en œuvre

En Italie, un service de radiodiffusion monophonique synchronisé en modulation de fréquence, 103.3 MHz (1997), destiné aux automobilistes, a été mis en place le long de grandes sections des principales autoroutes (sur plus de 1 530 km en 1995), y compris dans des régions montagneuses.

L'objectif premier de ce service était d'assurer une bonne réception à bord des véhicules sans qu'il soit nécessaire de modifier la syntonisation tout au long de la section d'autoroute, y compris dans les tunnels, où étaient utilisés des câbles rayonnant en radiofréquence. Il est prévu de généraliser ce service à la plupart des sections des principales autoroutes italiennes.

En France, une fréquence unique est attribuée le long des autoroutes à la radiodiffusion stéréophonique en modulation de fréquence. Cette économie de fréquence permet aux responsables des autoroutes de diffuser des informations sur la circulation à l'intention des automobilistes.

On utilise les techniques numériques pour synchroniser les émetteurs qui diffusent le même programme stéréophonique et les mêmes émissions RDS. Le système permet en outre de diffuser un programme supplémentaire à des fins de sécurité dans certaines parties localisées du réseau.

En France, pour des raisons de planification des fréquences, la p.a.r. de chaque émetteur a été limitée à 200 W en 1997. Les émissions ont lieu en polarisation verticale et à une fréquence unique de 107,7 MHz. Les brouillages entre les émetteurs sont réduits au minimum grâce à des techniques de décalage temporel et de diversité d'antenne.

5 Conclusion

En se fondant sur les données recueillies et sur les résultats obtenus, il est possible de planifier la mise en œuvre d'un réseau monophonique synchronisé pour des applications spéciales avec un rapport de protection de 2 dB seulement, à condition que le retard relatif entre les signaux modulants soit maintenu dans la limite de 5 μ s dans la totalité de la zone à desservir et que la déviation maximale de fréquence ne dépasse pas ± 75 kHz.

En effet dans le cas de brouillage par le même canal, les évaluations du rapport de protection effectuées pour des émetteurs utile et brouilleur diffusant le même programme et synchronisés conduisent à des valeurs très inférieures à celles qui sont indiquées dans la Fig. 1.

Dans le cas de la stéréophonie, l'influence du contenu stéréophonique et de la valeur du retard est beaucoup plus importante. A partir de l'étude complémentaire réalisée en Italie, on peut supposer:

- que la valeur de référence minimale pour le rapport de protection en stéréophonie, isofréquence et isomodulation, ne doit pas être inférieure à 16 dB pour obtenir la note 4 de l'échelle de dégradation, si l'on part de l'hypothèse que le retard d'égalisation ne dépasse pas 10 μ s;
- que, dans les endroits où le retard de propagation est observable ou bien pour des échantillons musicaux possédant un important contenu stéréo, le rapport de protection nécessaire pour obtenir la note 4 de l'échelle de dégradation passe à 30 et 38 dB respectivement, pour un brouillage constant.

Il conviendrait de procéder à d'autres évaluations, avec un plus grand nombre de configurations, y compris des signaux avec multiplexage de données.

ANNEXE 4

Mesures de l'excursion de crête et de la puissance du signal multiplex complet d'un signal de radiodiffusion sonore MF

1 Introduction

Au § 2.3 de la présente Recommandation, il est indiqué que les rapports de protection radiofréquence recommandés supposent que l'excursion maximale de fréquence de ± 75 kHz et la limite fixée pour la puissance du signal multiplex complet ne sont pas dépassées.

Deux pays (la République fédérale d'Allemagne et la France) ont mis au point des équipements de mesure pour vérifier ces paramètres de transmission, à savoir l'excursion de fréquence et la puissance du signal multiplex.

Trois dispositifs différents ont été comparés pendant des mesures communes et les résultats des mesures ont été concordants. Ces dispositifs de mesure sont déjà utilisés dans ces deux pays pour vérifier les paramètres de transmission correspondants des stations de radiodiffusion.

2 Résultats des mesures

Les résultats de mesure de deux stations de radiodiffusion différentes sont présentés à titre d'exemple (Fig. 11 et 12).

L'excursion de fréquence en fonction du temps de mesure est illustrée à la Fig. 11, l'excursion de fréquence donnée correspondant à la valeur maximale (mémoire de crête) pendant chaque minute.

La puissance du signal multiplex complet, P , en fonction du temps de mesure est illustrée à la Fig. 12; elle est mesurée conformément aux dispositions du § 2.3 de la présente Recommandation, c'est-à-dire sur une fenêtre d'intégration constante de 60 s déplacée par pas de 1 s.

Les Figures montrent que, pour une des stations de radiodiffusion mesurées (A), les valeurs recommandées sont bien respectées alors que pour l'autre station de radiodiffusion (B), les résultats s'écartent considérablement des deux valeurs limites. Par ailleurs, lors des mesures, il est arrivé que l'excursion maximale de fréquence ne soit pas dépassée alors que la limite de puissance du signal multiplex complet l'était nettement mais les résultats ne sont pas indiqués ici.

Les mesures de l'excursion maximale ont été faites avec un temps de réponse très bref. La corrélation entre le temps de réponse et les rapports de protection n'a pas été examinée.

FIGURE 11
Excursion de fréquence en fonction du temps de mesure

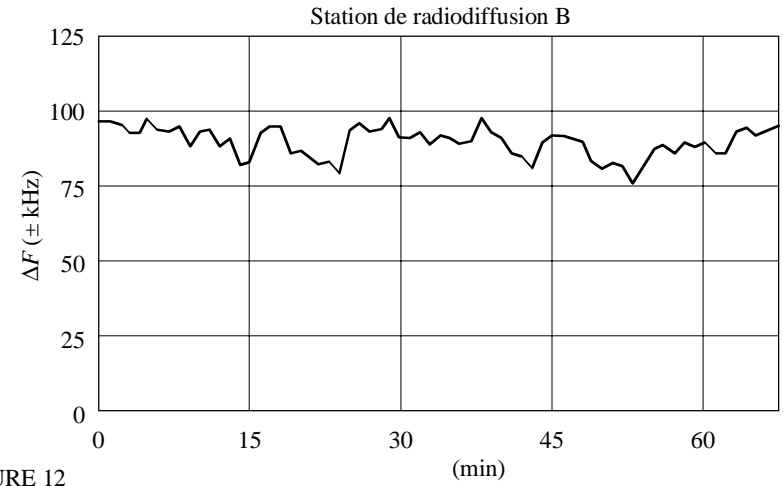
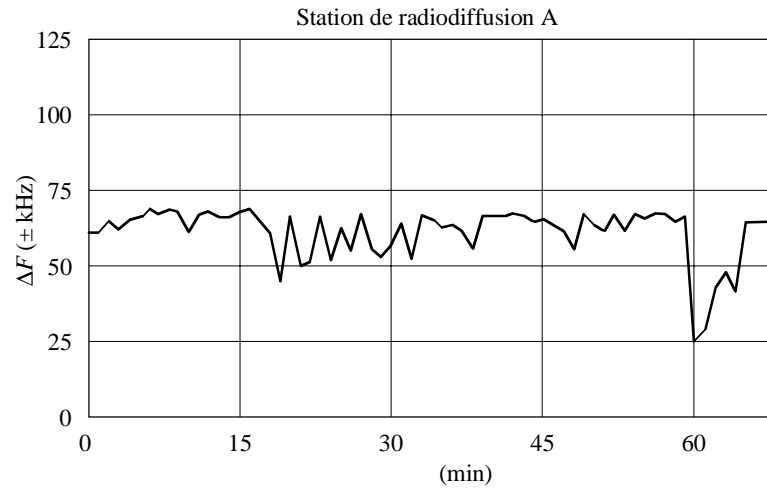
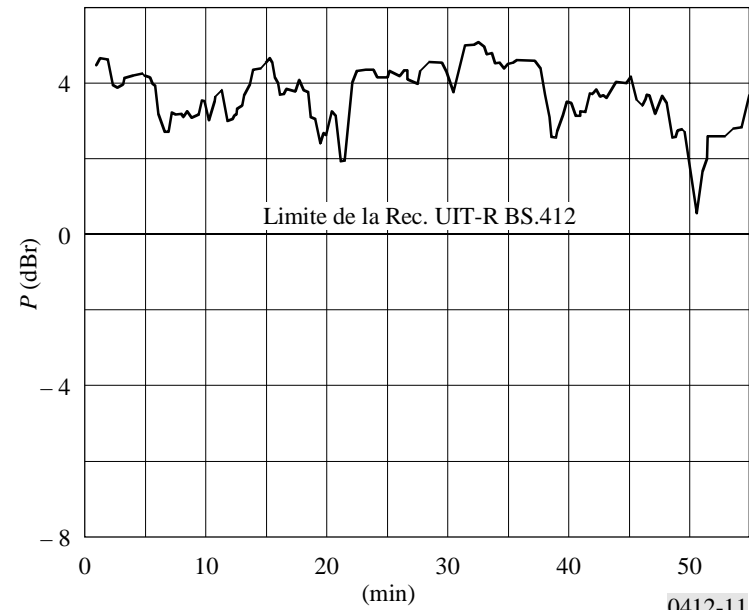
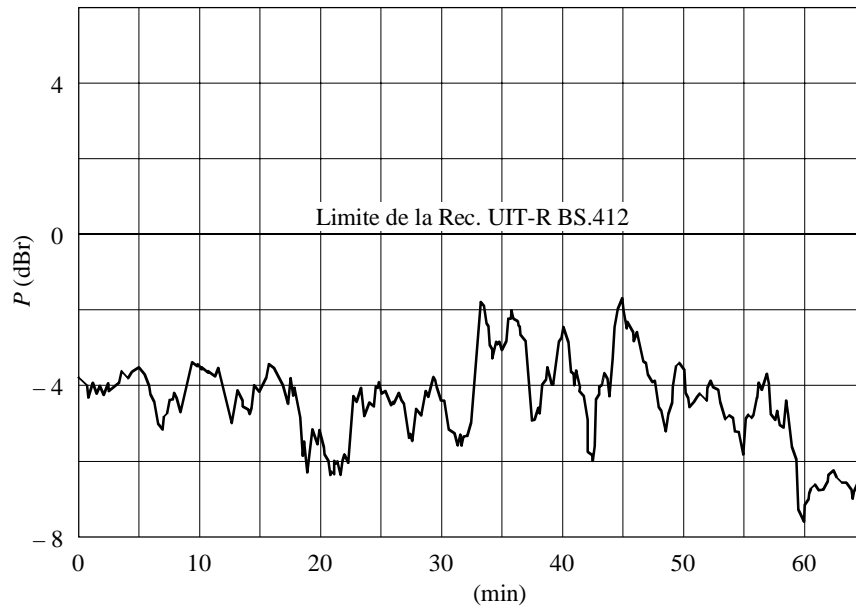


FIGURE 12

Puissance du signal multiplex complet en fonction du temps de mesure



0412-11