

RECOMMANDATION UIT-R F.1246*, **

Largeur de bande de référence des stations de réception du service fixe, à utiliser pour la coordination des assignations de fréquences avec les stations spatiales d'émission du service mobile par satellite dans la gamme 1-3 GHz

(Questions UIT-R 201/8 et UIT-R 118/9)

(1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que plusieurs bandes de fréquences dans la gamme 1-3 GHz sont partagées entre le service mobile par satellite (espace-Terre) et le service fixe;
- b) que les réseaux du service mobile par satellite (SMS) utiliseront généralement la modulation numérique et l'accès multiple par répartition en fréquence (AMRF), l'accès multiple à répartition dans le temps (AMRT), ou l'accès multiple par répartition en code (AMRC), qui se traduiront par un profil spectral relativement uniforme dans la largeur de bande attribuée à la porteuse du SMS;
- c) que la plupart des réseaux du SMS, d'après les indications figurant à l'Appendice 4 du Règlement des radiocommunications (RR), utilisent des techniques de modulation à bande étroite permettant d'inclure plusieurs canaux de ces réseaux dans une largeur de bande de référence de 1 MHz utilisée par des systèmes du service fixe et que ces canaux sont habituellement équipés de dispositifs d'activation par la voix et d'une commande active d'alimentation, afin de réduire les besoins réels d'alimentation en énergie du satellite du SMS;
- d) que pour tenir compte du cas le plus défavorable de brouillage du service fixe, des valeurs du seuil de coordination de la puissance surfacique ont été spécifiées dans les Recommandations UIT-R M.1141 et UIT-R M.1142 pour la largeur de bande de référence de 4 kHz;
- e) que l'utilisation de largeurs de bande de référence relativement importantes pour les récepteurs du service fixe permet de prendre en considération les types de modulation numérique et de systèmes d'accès effectivement employés pour les transmissions espace-Terre à partir des stations spatiales du SMS, susceptibles de réduire le niveau effectif de brouillage probable;
- f) que les systèmes numériques doivent généralement servir de modèles de référence pour les calculs de brouillage dans la gamme 1-3 GHz,

* Cette Recommandation ayant été élaborée conjointement par les Commissions d'études 8 et 9 des radiocommunications, toute révision ultérieure devra également être faite conjointement par ces deux Commissions d'études.

** La Commission d'études 9 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2004 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 44.

recommande

1 qu'une largeur de bande de référence de 1 MHz soit employée pour les systèmes analogiques et numériques du service fixe, afin de définir les seuils de coordination de la puissance surfacique et de la dégradation relative de la qualité de fonctionnement dues aux systèmes du SMS utilisant les fréquences attribuées pour les transmissions espace-Terre du SMS, dans la gamme 1-3 GHz (Notes 1, 2, 3 et 4);

2 qu'une largeur de bande de référence de 4 kHz soit également utilisée pour les systèmes analogiques de multiplexage par répartition en fréquence-modulation de fréquence (MRF-MF) du service fixe pour la détermination des seuils de coordination de puissance surfacique, pour les systèmes du SMS utilisant les fréquences attribuées pour les transmissions espace-Terre du SMS dans la gamme 1-3 GHz (Notes 1, 3 et 4).

NOTE 1 – Les largeurs de bande de référence des § 1 et 2 constituent le point de départ de la détermination des valeurs du seuil de coordination de la puissance surfacique et de la dégradation relative de la qualité de fonctionnement, comme le préconisent les Recommandations UIT-R M.1141 et UIT-R M.1142.

NOTE 2 – L'utilisation d'une largeur de bande de référence de 1 MHz est cohérente avec la protection des systèmes numériques. Voir l'Annexe 1.

NOTE 3 – Lorsque le spectre de la porteuse du SMS est uniforme sur toute la largeur de bande occupée, et n'est pas fortement concentré dans un domaine spectral étroit quelconque à l'intérieur de la largeur de bande de référence, l'utilisation d'une largeur de bande de référence de 1 MHz est généralement compatible avec la protection des systèmes analogiques. Voir l'Annexe 1.

NOTE 4 – L'utilisation conjointe de largeurs de bande de référence de 1 MHz et de 4 kHz serait cohérente avec la protection des systèmes analogiques MRF-MF, puisque l'emploi de la largeur de bande de référence de 4 kHz limite la densité spectrale de la puissance de crête des porteuses brouilleuses à bande étroite du SMS.

Si la valeur du seuil de coordination applicable à la largeur de bande de référence de 1 MHz est égale à X dB(W/m²), la valeur additionnelle du seuil de coordination adapté à la largeur de bande de référence de 4 kHz est égale à $X - 18$ dB(W/m²). Voir l'Annexe 1. Dans le cas des systèmes analogiques du service fixe acheminant des signaux de télévision, il n'est pas nécessaire d'appliquer le seuil de coordination déterminé à partir de la largeur de bande de référence de 4 kHz.

Cette nouvelle méthode consistant à utiliser conjointement les largeurs de bande de référence de 1 MHz et de 4 kHz pour déterminer les valeurs du seuil de coordination, est uniquement applicable aux bandes de fréquences de la gamme 1-3 GHz, partagées entre le SMS et le service fixe. Cela est dû au fait que les systèmes analogiques du service fixe à l'intérieur de ces bandes de fréquences sont généralement employés pour offrir des capacités faibles ou moyennes, de 960 canaux au plus. La nouvelle méthode ainsi proposée ne convient pas aux autres bandes de fréquences, à l'intérieur desquelles des faisceaux hertziens analogiques à grande capacité sont utilisés. (La technique de détermination de la limite de puissance surfacique applicable au service fixe par satellite dans la bande 6825-7075 MHz utilise également à la fois les largeurs de bande de référence de 1 MHz et de 4 kHz (voir le Tableau 21-4 du RR), bien qu'elle ait été choisie pour une raison dont l'exposé sort du cadre de la présente Recommandation).

NOTE 5 – L'Annexe 2 fournit des indications sur les caractéristiques des porteuses numériques à bande étroite du SMS et sur les avantages que pourrait offrir l'utilisation de la largeur de bande de référence de 1 MHz pour la coordination des réseaux à satellite du SMS et des réseaux du service fixe. Des renseignements détaillés concernant les caractéristiques spectrales des porteuses du SMS fonctionnant dans le sens espace-Terre à l'intérieur de la gamme 1-3 GHz, figurent dans les données de l'Appendice 4 du RR, fournies au Bureau des radiocommunications et concernant les réseaux SMS en projet.

Annexe 1

Largeur de bande de référence applicable aux systèmes du service fixe pour le partage des fréquences avec le service mobile par satellite

1 Introduction

Les Recommandations UIT-R M.1141 et UIT-R M.1142 indiquent les valeurs du seuil de coordination utilisées pour le partage des fréquences entre le service fixe et le SMS. La Conférence mondiale des radiocommunications (Genève, 1995) (CMR-95) a intégré ces valeurs du seuil de coordination à la version révisée du RR.

La présente Annexe contient différentes remarques concernant la largeur de bande de référence adoptée dans les Recommandations UIT-R mentionnées ci-dessus.

2 Largeur de bande de référence pour les systèmes numériques du service fixe

La Recommandation UIT-R M.1141 adopte la largeur de bande de référence de 1 MHz pour définir la dégradation relative de la qualité de fonctionnement (FDP, *fractional degradation in performance*) des systèmes numériques du service fixe, en vue du partage des fréquences avec des stations spatiales non géostationnaires du SMS (sauf pour la bande 2 483,5-2 500 MHz). Toutefois, la Recommandation UIT-R M.1142 adopte la largeur de bande de référence de 4 kHz pour définir les valeurs du seuil de coordination, en termes de puissance surfacique, applicables aux systèmes numériques du service fixe, en vue du partage des fréquences avec des stations spatiales géostationnaires du SMS.

Il convient de remédier à ce défaut de cohérence. En règle générale, l'adoption de la largeur de bande de référence de 1 MHz semble convenir à la protection des systèmes numériques du service fixe.

Dans certaines applications, les systèmes numériques du service fixe peuvent utiliser des largeurs de bande relativement restreintes, auquel cas le choix d'une largeur de bande de référence moins importante peut alors s'avérer préférable. Il convient cependant d'attirer l'attention sur le fait que les systèmes du SMS fonctionnent généralement en modulation numérique (par exemple, modulation par quadrature de phase (MDP-4)), caractérisée par l'uniformité du spectre sur une certaine largeur de bande. Par conséquent, même en adoptant la largeur de bande de référence de 1 MHz, la protection des systèmes numériques du service fixe ayant des largeurs de bande moins importantes présente peu de risques.

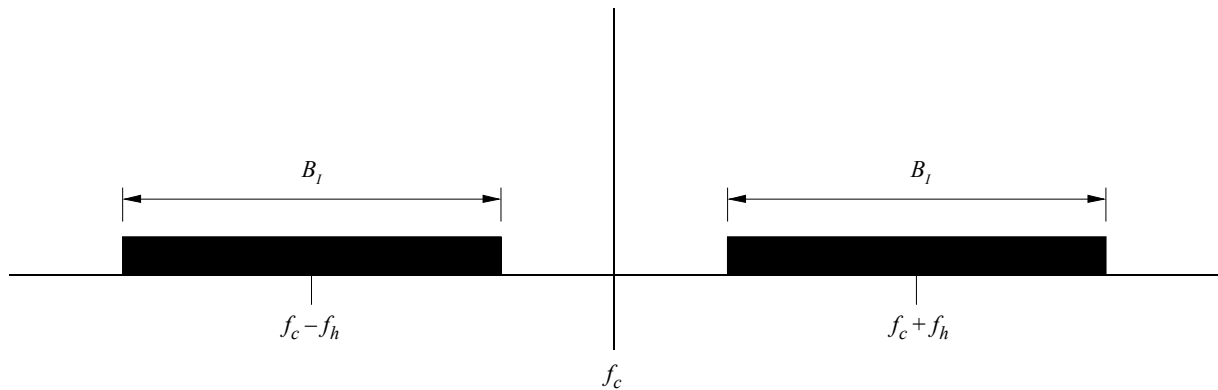
3 Largeur de bande de référence pour les systèmes analogiques du service fixe

3.1 Évaluation du brouillage en présence de deux sources de brouillage

Traditionnellement, la largeur de bande de référence de 4 kHz a été adoptée pour la détermination des critères de partage applicables aux systèmes analogiques du service fixe. Elle convient en particulier à la détermination des critères de partage applicables aux systèmes hertziens fixes analogiques à grande capacité. Or, dans la gamme 1-3 GHz, les systèmes analogiques du service fixe se caractérisent généralement par une capacité moyenne ou faible. En pareil cas, l'effet du brouillage est moindre par comparaison aux systèmes à grande capacité parce que, lorsque la capacité du système est plus faible, le processus de démodulation de la porteuse MF est susceptible de produire un effet plus important de dispersion d'énergie.

Afin d'estimer l'importance de ce phénomène, des calculs ont été effectués pour un faisceau hertzien du service fixe acheminant 960 canaux téléphoniques (bande de base: 60-4028 kHz). Une capacité de 960 canaux a été choisie pour les calculs car il s'agit de la plus forte capacité utilisée généralement dans la gamme 1-3 GHz; elle correspond donc au cas le plus défavorable. On a supposé un brouillage tel qu'indiqué à la Fig. 1, caractérisé par deux signaux brouilleurs (chacun de largeur de bande B_I) de fréquences centrales respectives $f_c + f_h$ et $f_c - f_h$, où f_c est la fréquence de la porteuse et f_h la fréquence la plus élevée de la bande de base. La méthode de calcul est présentée à l'Appendice 1 de l'Annexe 1.

FIGURE 1
Situation de brouillage



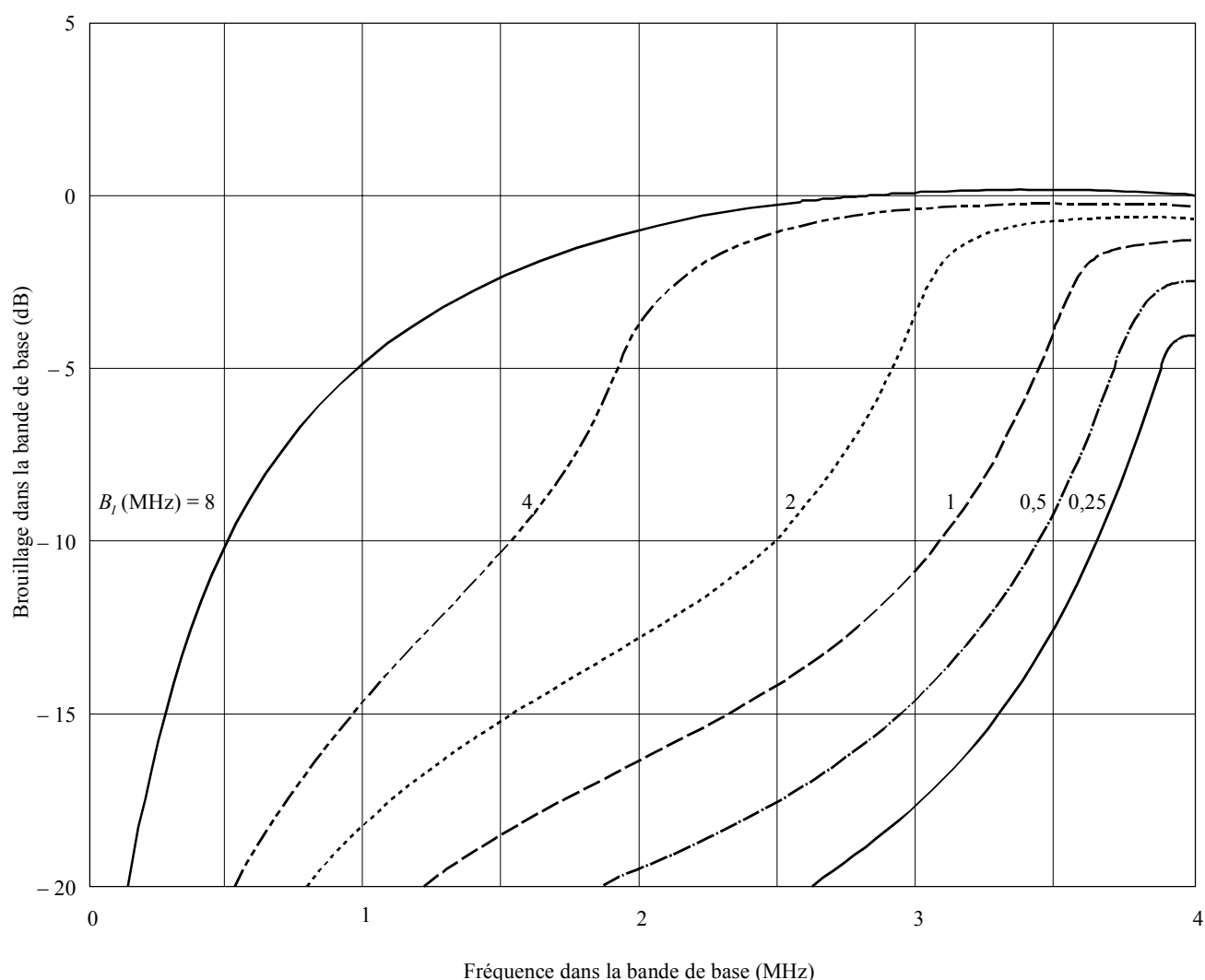
f_c : fréquence porteuse du système du service fixe
 f_h : fréquence maximale de la bande de base du système du service fixe
 B_I : largeur de bande du signal brouilleur

1246-01

Les résultats sont présentés à la Fig. 2. $B_I = 8$ MHz correspond à un signal brouilleur à très large bande (semblable à un bruit thermique). Le niveau de brouillage dans la bande de base à la fréquence f_h ($= 4028$ kHz) pour $B_I = 8$ MHz est supposé égal à 0 dB. Le brouillage dans la bande de base dans la gamme 2-4 MHz est pratiquement constant en raison de l'effet de la préaccentuation.

FIGURE 2

Distribution du brouillage dans la bande de base pour des signaux brouilleurs de différentes largeurs de bande (faisceaux hertziens analogiques à 960 canaux)



1246-02

Les calculs ont été effectués pour $B_I = 8, 4, 2, 1, 0,5$ et $0,25$ MHz. Le niveau de brouillage à la fréquence f_h s'atténue pour des valeurs plus petites de B_I . Cela s'explique par le phénomène de dispersion d'énergie propre aux faisceaux hertziens analogiques. En l'absence d'effet de dispersion, on observerait le niveau de brouillage suivant dans la bande de base:

- aucun brouillage pour la bande de fréquences comprise entre 0 et $f_h - B_I/2$;
- brouillage atteignant pratiquement 0 dB dans la bande de fréquences comprises entre $f_h - B_I/2$ et f_h .

Cette dernière situation (absence d'effet de dispersion) s'applique uniquement aux faisceaux hertziens à grande capacité qui utilisent un indice de modulation très faible. En revanche, la situation est très différente dans le cas des faisceaux à 960 canaux.

Par exemple, pour $B_I = 500$ kHz, le niveau de brouillage à la fréquence f_h est égal à $-2,5$ dB.

A certains égards, la situation illustrée par la Fig. 1 correspond au cas le plus défavorable. En effet, on suppose alors que deux signaux brouilleurs apparaissent symétriquement de part et d'autre de la fréquence porteuse du service fixe. Ainsi, la disparition de l'un de ces deux signaux entraîne une réduction de 3 dB du niveau de brouillage dans la bande de base.

L'interprétation des résultats du calcul, présentés à la Fig. 2, n'est pas simple. Il est néanmoins possible d'avancer au moins les conclusions suivantes:

- la largeur de bande de référence fixée à 4 kHz est trop étroite. Le choix d'une largeur de bande plus importante est sans doute indiqué;
- même si l'on adopte la largeur de bande de référence égale à 1 MHz, le risque effectivement encouru est vraisemblablement négligeable; en effet, lorsque $B_I = 500$ kHz, le brouillage dans la bande de base atteint $-2,5$ dB (pour deux signaux brouilleurs symétriques) ou $-5,5$ dB (pour un signal brouilleur situé d'un seul côté). Si l'on exprime ces résultats en densité spectrale dans la bande de référence de 1 MHz, le niveau de brouillage dépasse seulement de $+0,5$ dB ou reste inférieur de $2,5$ dB, par comparaison à un signal brouilleur uniforme sur une largeur de bande importante (par exemple $B_I = 8$ MHz).

La conclusion formulée ci-dessus semble impliquer la possibilité d'adopter sans risque la largeur de bande de référence de 1 MHz dans la gamme 1-3 GHz.

Cette conclusion pourrait être acceptable lorsque la nature du signal brouilleur est connue (voir l'Annexe 2).

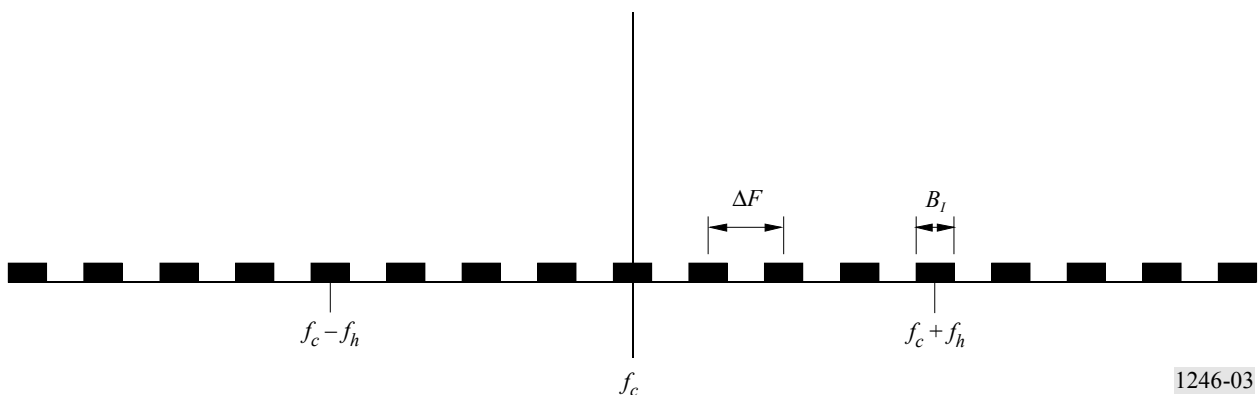
On suppose que les signaux radioélectriques émis par les stations spatiales du SMS ont un spectre uniforme sur une certaine largeur de bande. En pareil cas, la largeur de bande de référence égale à 1 MHz est généralement acceptable.

3.2 Évaluation du brouillage en présence de plusieurs sources de brouillage

Pour pouvoir étudier les effets d'une concentration de puissance brouilleuse sur les faisceaux hertziens analogiques, les calculs ont été effectués en supposant, tel qu'indiqué à la Fig. 3, un grand nombre de porteuses brouilleuses de densité spectrale uniforme sur la largeur de bande B_I et un espacement de fréquence uniforme ΔF .

FIGURE 3

Situation de brouillage en présence de signaux brouilleurs multiples



Le brouillage dans la bande de base est calculé pour différentes valeurs de B_I , dans l'hypothèse d'une puissance totale constante de chaque porteuse brouilleuse, c'est-à-dire d'une variation de la puissance surfacique ΔPFD (dB) de la porteuse brouilleuse, exprimée par la relation:

$$\Delta PFD = 10 \log (\Delta F / B_I)$$

Le cas $B_I = \Delta F$ correspond à la situation de référence. Le spectre de la puissance brouilleuse est alors uniforme sur une large bande, à l'instar d'un bruit thermique.

Lorsque B_I diminue, le brouillage dans la bande de base est concentré sur certaines fréquences. La Fig. 4 représente la structure fine de la variation du brouillage dans la bande de base, par exemple pour $\Delta F = 500$ kHz et pour $\Delta PFD = 4$ ou 6 dB. L'accroissement des valeurs maximales du brouillage dans la bande de base a été calculé dans différents cas. Les résultats obtenus sont indiqués au Tableau 1 pour un système hertzien analogique de 960 canaux (excursion de fréquence efficace de 200 kHz par voie) et pour $\Delta F = 1$ MHz, 500 kHz, 200 kHz et 100 kHz.

D'après les données du Tableau 1, et en raison du phénomène de dispersion d'énergie propre aux faisceaux hertziens analogiques, l'accroissement du brouillage dans la bande de base est nettement inférieur à ΔPFD . L'accroissement du brouillage dans la bande de base est lié par une relation complexe à ΔF et à ΔPFD , mais en règle générale une valeur de ΔPFD ne dépassant pas 6 dB s'avère acceptable.

FIGURE 4
 Distribution du brouillage dans la bande de base (structure fine) pour des signaux brouilleurs multiples ($\Delta F = 500$ kHz, $\Delta PFD = 4$ ou 6 dB) (faisceaux hertziens analogiques à 960 canaux)

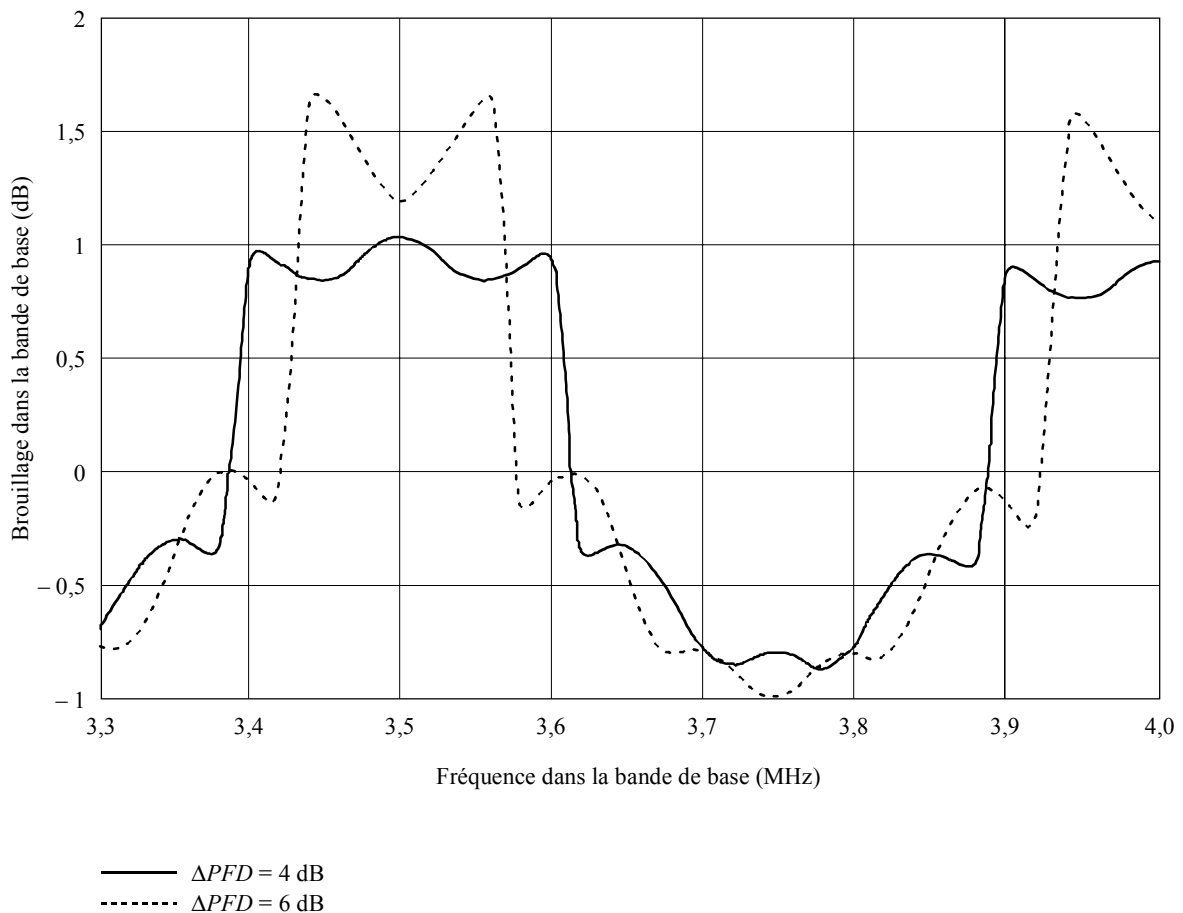


TABLEAU 1

Valeurs maximales de l'accroissement du brouillage dans la bande de base (dB) pour différentes valeurs de ΔF et de ΔPFD (faisceaux hertziens analogiques à 960 canaux)

| ΔF (kHz) | ΔPFD (dB) | | | | | |
|---------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 1 000 | 0 | 1,0 | 1,8 | 2,5 | 3,0 | 3,9 |
| 500 | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,6 | 2,0 | 3,0 |
| 200 | 0 | 0,4 | 0,6 | 1,1 | 2,0 | 3,1 |
| 100 | 0 | 0,4 | 0,8 | 1,4 | 2,2 | 3,3 |

On peut également observer que les calculs ci-dessus supposent l'existence d'un grand nombre de signaux brouilleurs identiques par l'espacement des fréquences et par la densité spectrale. Cette hypothèse correspond en quelque sorte au cas le plus défavorable.

Un calcul analogue a été réalisé afin d'évaluer les effets d'une concentration de puissance de la porteuse brouilleuse sur le bruit de brouillage dans la bande de base d'un faisceau hertzien analogique MRF-MF à 960 canaux. Pour la porteuse MRF-MF à 960 canaux, on a utilisé une forme du spectre indiquée dans la Recommandation UIT-R SF.766. La porteuse brouilleuse du SMS, dotée d'une largeur de bande égale à 25 kHz, avait été définie par une fonction $(\sin X/X)^2$.

Les calculs ont fait appel à une technique de convolution numérique afin d'évaluer le brouillage dans la bande de base. Après convolution du spectre de puissance utile et du spectre de puissance brouilleuse, la puissance du bruit de brouillage dans la bande de base affectant un canal quelconque de la bande de base du faisceau hertzien utile, pour les différents décalages de fréquence, a été obtenue au moyen de l'expression suivante:

$$N_p = 10^{0,1(87,5-B-C/I)}$$

où:

B : facteur de réduction du brouillage (dB)

N_p : puissance de brouillage pondérée (pW0p)

C/I : rapport de puissance porteuse utile/porteuse brouilleuse (dB) pour une porteuse brouilleuse unique.

L'analyse des résultats a montré qu'un canal dans la bande de base proche de la fréquence la plus élevée subit le bruit de brouillage le plus préjudiciable pour un espacement de 4000 kHz par rapport à la porteuse. Par la suite, l'effet de porteuses brouilleuses multiples a été évalué en supposant 40, 20, 10 et 5 porteuses brouilleuses espacées respectivement de 25, 50, 100 et 200 kHz. La puissance de chaque porteuse a été corrigée de façon à obtenir une puissance totale constante dans la bande de 1 MHz.

L'analyse des résultats a montré en outre que 40 porteuses brouilleuses contiguës, dotées d'une puissance brouilleuse de X dBW par porteuse, et espacées de 4 MHz par rapport à la fréquence centrale de la porteuse du faisceau hertzien, ont sur le canal le plus vulnérable de la bande de base un effet pratiquement identique à celui de 20 porteuses (espacées de 50 kHz), de 10 porteuses (espacées de 100 kHz) et de 5 porteuses (espacées de 200 kHz), dotées de puissances de brouillage respectivement égales à $X+3$ dBW, $X+6$ dBW et $X+9$ dBW par porteuse. On a constaté par ailleurs que la valeur maximale de l'accroissement relatif du brouillage dans la bande de base

imputable à 5 porteuses dotées d'une puissance de brouillage individuelle de $X + 9$ dBW et espacées de 200 kHz, était proche de 0,9 dB, par comparaison à 40 porteuses dotées d'une puissance de brouillage individuelle de X dBW.

Le calcul a établi que la concentration de puissance à l'intérieur d'une bande étroite ne produira pas une intensification notable du bruit de brouillage dans la bande de base d'un faisceau hertzien MRF-MF à 960 canaux. Un complément d'étude est nécessaire pour étayer cette analyse.

4 Conclusion

4.1 Pour assurer la protection des systèmes numériques du service fixe, il convient d'adopter la largeur de bande de référence de 1 MHz.

4.2 Pour assurer la protection des systèmes analogiques du service fixe, il convient d'adopter la largeur de bande de référence de 1 MHz, mais il y a lieu simultanément d'adopter une valeur additionnelle du seuil de coordination, déterminée à partir de la largeur de bande de référence de 4 kHz, afin de limiter la densité spectrale de la puissance de crête des porteuses brouilleuses à bande étroite du SMS.

Appendice 1 de l'Annexe 1

Calculs du brouillage

1 Cas de deux sources brouilleuses

En supposant égale à 1 la puissance de la porteuse utile, la relation ci-dessous permet de représenter le signal $Z(t)$ prenant en compte un signal brouilleur:

$$Z(t) = \sqrt{2} \cos[2\pi f_c t + s(t)] + I(t) \quad (1)$$

où:

f_c : fréquence de la porteuse

$s(t)$: angle de phase dû à la modulation de fréquence

$$I(t) = \sqrt{2} \sum b_k \cos 2\pi(f_c + \Delta f_k)t \quad (\text{signal brouilleur}) \quad (2)$$

En supposant un rapport porteuse/brouillage suffisamment important (c'est-à-dire, $|b_k| \ll 1$), la relation peut s'écrire comme suit:

$$Z(t) = \sqrt{2} \cos \left[2\pi f_c t + s(t) + \sum b_k \sin (2\pi \Delta f_k t - s(t)) \right] \quad (3)$$

Le déphasage $\varphi_I(t)$ dû au brouillage est alors donné par la formule:

$$\varphi_I(t) = \sum b_k \sin (2\pi \Delta f_k t - s(t)) \quad (4)$$

Si l'on veut calculer le spectre de puissance de $\varphi_I(t)$, il faut tout d'abord calculer la fonction d'auto-corrélation $R_\varphi(\tau)$ de $\varphi_I(t)$. Des calculs assez complexes permettent de parvenir à la relation suivante:

$$R_\varphi(\tau) = E[\varphi_I(t) \cdot \varphi_I(t - \tau)] = R_I(\tau) \cdot \exp[-R_S(\tau)] \quad (5)$$

dans laquelle $E[\]$ désigne l'espérance mathématique:

$$R_I(\tau) = R_I(0) \frac{\sin(2\pi f_{I2} \tau) - \sin(2\pi f_{I1} \tau)}{2\pi(f_{I2} - f_{I1}) \tau} \quad (6)$$

(fonction d'autocorrélation du signal brouilleur)

$$R_s(\tau) = 2m^2 \int_{\varepsilon}^1 \frac{\sin^2(\pi f_h \tau u)}{u^2} p(u) du \quad (7)$$

(fonction d'autocorrélation du signal de modulation de phase)

où:

$$f_{I1} = f_h - B_I/2 \text{ (limite inférieure de la fréquence de brouillage)}$$

$$f_{I2} = f_h + B_I/2 \text{ (limite supérieure de la fréquence de brouillage)}$$

m : indice de modulation ($m = 0,276$ pour 960 canaux correspondant à une excursion de fréquence efficace de 200 kHz par voie)

f_h : fréquence de modulation la plus élevée dans la bande de fréquence

f_l : fréquence de modulation la plus basse dans la bande de fréquence

$$\varepsilon = f_l/f_h$$

$$p(f/f_h) = C_0 + C_2 (f/f_h)^2 + C_4 (f/f_h)^4 \quad (8)$$

où:

$$C_0 = 0,4, \quad C_2 = 1,35 \text{ et } C_4 = 0,75 \text{ (voir la Recommandation UIT-R SF.675)}$$

Dans la situation ci-dessus, la transformée de Fourier permet de calculer le spectre de puissance $W(f)$ de la phase de brouillage $\varphi_I(t)$, en procédant comme suit:

$$W(f) = 4 \int_0^{\infty} R_{\varphi}(\tau) \cos(2\pi f \tau) d\tau \quad (9)$$

Il faut toutefois attirer l'attention sur le fait que le signal MF utile contient une composante discrète résiduelle de puissance porteuse. La valeur de $R_s(\tau)$ pour $\tau = \infty$ correspond à la porteuse résiduelle (voir la Recommandation UIT-R SF.675). $R_s(\tau)$ pour $\tau = \infty$ est calculée par l'expression suivante:

$$R_s(\infty) = \frac{m^2 (1 - \varepsilon)}{\varepsilon} \left[C_0 + \varepsilon C_2 + \frac{C_4}{3} (\varepsilon + \varepsilon^2 + \varepsilon^3) \right] \quad (10)$$

Dans ce cas, $R_{\varphi}(\tau)$ se compose de deux éléments, l'un dû à la composante discrète résiduelle de puissance de la porteuse MF, et l'autre aux composantes continues de bande latérale du signal MF. La fonction d'autocorrélation $R_d(\tau)$ due à la composante résiduelle discrète de la porteuse MF est donnée par:

$$R_d(\tau) = R_I(\tau) \cdot \exp[-R_s(\infty)] \quad (11)$$

Il convient donc de calculer $W(f)$ tel qu'indiqué ci-dessous:

$$W(f) = 4 \int_0^{\infty} [R_{\varphi}(\tau) - R_d(\tau)] \cos(2\pi f \tau) d\tau + 4 \int_0^{\infty} R_d(\tau) \cdot \cos(2\pi f \tau) d\tau \quad (12)$$

La première intégrale du membre de droite correspond au brouillage imputable à la convolution du signal brouilleur et des composantes continues de bande latérale du signal MF, tandis que la deuxième intégrale correspond au brouillage imputable au couplage du signal brouilleur et de la composante résiduelle discrète de la porteuse MF.

De façon à tenir compte de l'effet du discriminateur de fréquence et de la désaccentuation au niveau du récepteur de faisceaux hertziens analogiques, le brouillage dans la bande de base s'exprime en définitive par:

$$\frac{f^2}{p(f/f_h)} W(f) \quad (13)$$

Le résultat du calcul est présenté à la Fig. 2.

2 Cas de signaux brouilleurs multiples

Dans le cas de signaux brouilleurs multiples tel qu'indiqué à la Fig. 3, la seule modification à introduire pour effectuer les calculs de brouillage consiste à utiliser la fonction d'autocorrélation suivante du signal brouilleur cumulatif au lieu de la relation (6):

$$R_I(\tau) = R_I(0) \frac{\sin(\pi B_I \tau) \cdot \sin[(4n+1)\pi \Delta F \tau]}{(4n+1)\pi B_I \tau \cdot \sin(\pi \Delta F \tau)} \quad (14)$$

avec $n = f_h/\Delta F$. Pour le calcul, on suppose qu'il y a $(4n+1)$ porteuses brouilleuses.

Annexe 2

Exemples de caractéristiques de SMS à prendre en considération pour le choix de la largeur de bande de référence des stations réceptrices du service fixe, à des fins de coordination des assignations de fréquences des stations émettrices spatiales du SMS dans la gamme 1-3 GHz

1 Introduction

La densité de puissance spectrale des émissions descendantes des satellites du SMS est en règle générale non uniforme sur une largeur de bande de 1 MHz, de telle sorte que la puissance totale dans une largeur de bande de 1 MHz, rapportée à la puissance totale dans une largeur de bande de 4 kHz est nettement inférieure au rapport de ces deux largeurs de bande. Aussi est-il plus facile sur les réseaux du SMS d'éviter de dépasser un seuil de coordination de la puissance surfacique spécifié pour une largeur de bande de référence de 1 MHz, que dans le cas d'un seuil spécifié pour une largeur de bande de référence de 4 kHz. De plus, lorsqu'une coordination est justifiée pour des liaisons descendantes utilisant des techniques de modulation à bande étroite, l'usage d'une largeur de bande de référence plus importante permet de prendre en considération l'activité de canal SMS et les limites fixées en matière d'assignation et de charge des canaux, en tant que moyens de limitation du brouillage à des niveaux acceptables.

2 **Avantage lié à l'économie d'une coordination inutile**

Les systèmes fixes utilisant les techniques de modulation et de multiplexage numériques peuvent habituellement employer dans les calculs de brouillage une largeur de bande de référence d'au moins 1 MHz, auquel cas plusieurs canaux descendants à bande étroite du SMS seraient inclus dans la largeur de bande de référence. La puissance surfacique dans une largeur de bande de référence de 1 MHz ne serait pas uniforme pour la valeur de crête de la puissance surfacique produite dans une liaison descendante type à bande étroite d'un satellite du SMS; en effet les signaux adjacents du SMS comportent des bandes de garde. En outre, les émissions ne se produiront pas simultanément sur tous les canaux descendants utilisables du SMS à implantation contiguë dans la largeur de bande de référence. Par exemple, une largeur de bande de référence de 1 MHz contient 200 canaux SMS de 5 kHz de largeur de bande, bien que le signal descendant occupe dans chaque canal une largeur de bande de l'ordre de 3,3 kHz, ce qui se traduit par un gain de 2 dB par rapport à une largeur de bande de référence de 4 kHz. En outre, compte tenu du grand nombre de canaux SMS à bande étroite contenus dans la largeur de bande de référence de 1 MHz destinée au service fixe, il est possible de prendre en considération l'incidence de la charge des canaux SMS, ce qui permet d'obtenir un gain supplémentaire de 4 dB. Par conséquent cet exemple de réseau du SMS pourrait dépasser un seuil de puissance surfacique spécifié pour une largeur de bande de référence de 4 kHz, d'une valeur pouvant atteindre 6 dB, sans toutefois dépasser le seuil de puissance surfacique adapté à la largeur de bande, spécifié pour une largeur de bande de référence de 1 MHz.

3 **Avantage lié à la procédure de coordination**

Les systèmes de gestion du réseau SMS peuvent fixer le nombre et l'implantation en fréquence des canaux SMS assignés dans n'importe quelle bande de référence. Cette possibilité autorise la prise en considération des limites concernant le nombre de canaux SMS à bande étroite assignés à une largeur de bande de référence, dans le but de limiter la densité de puissance totale des signaux brouilleurs.

Si l'on reprend l'exemple ci-dessus des canaux de 5 kHz du SMS et d'une largeur de bande de référence de 1 MHz, la limitation du nombre de canaux SMS assignés par MHz à un septième du nombre maximum potentiel de canaux par MHz, réduirait de 8 dB la puissance potentielle du signal brouilleur. Cette limitation ne risque pas, par exemple, d'affecter la capacité d'un satellite du SMS utilisant des techniques d'accès AMRT/AMRF et utilisant au moins 7 faisceaux, suivant un schéma de réutilisation des fréquences à sept cellules, dans l'hypothèse d'une distribution uniforme de la capacité de trafic offerte dans les faisceaux.

4 **Conclusion**

A la lumière des avantages décrits ci-dessus, il conviendrait d'utiliser dans la mesure du possible une largeur de bande de référence égale à 1 MHz, afin de déterminer si une coordination s'avère nécessaire entre les assignations de fréquences aux liaisons de service descendantes des satellites du SMS et celles des stations fixes. En particulier, l'emploi d'une largeur de bande de référence de 1 MHz (et non de 4 kHz) pour calculer les seuils de coordination peut éviter une coordination dans certains cas et peut la faciliter dans d'autres. De plus, pour la coordination effective des assignations de fréquences, il conviendrait d'utiliser la largeur de bande de référence la plus importante possible (dans la limite de la largeur de bande de canal de systèmes fixes types).
