

MÉTHODES DE CALCUL DES BROUILLAGES MULTIPLES

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

(1982-1986-1990)

1. Introduction

Le champ utilisable, E_u , défini dans la Recommandation 638, peut servir de critère pour caractériser la situation de brouillage dans un canal donné et dans une zone donnée. Il tient compte, en principe, du bruit naturel et artificiel ainsi que de l'effet combiné de tous les émetteurs brouilleurs. Si le champ utilisable a une valeur élevée, les émetteurs brouilleurs exercent une grande influence, et inversement si le champ utilisable est faible.

Le champ utilisable est indépendant des caractéristiques de l'émetteur utile; en règle générale, sa variation est faible en fonction de l'emplacement. On peut le déterminer pour tout emplacement donné. Pour la planification à l'échelle internationale, il peut être commode de calculer le champ utilisable à l'emplacement de l'émetteur utile. Cette valeur peut, en première approximation, être considérée comme représentative de la situation sur tout l'ensemble de la zone de couverture.

Pour calculer ces brouillages, on utilise essentiellement deux types de méthodes, à savoir:

- les méthodes statistiques;
- les méthodes non statistiques.

En règle générale, on utilise la «méthode de multiplication simplifiée» (exemple de méthode statistique) ou la «méthode de la somme quadratique» (méthode non statistique). On a aussi acquis une certaine expérience en employant la "méthode log-normale" (méthode statistique), qui donne de bons résultats [Koubrakov et autres, 1985].

Ce Rapport décrit ces trois méthodes et donne des indications sur la façon de procéder pour une utilisation efficace de chacune d'entre elles.

La méthode de multiplication simplifiée et la méthode log-normale tiennent compte des effets de la variabilité d'emplacement, en partant de l'hypothèse qu'elles suivent une loi gaussienne et qu'elles sont destinées à être utilisées aux fréquences métriques et aux fréquences plus élevées. La méthode de la somme quadratique s'applique à la réception point à point et doit être utilisée successivement avec différents emplacements de réception dans les études de couverture.

L'Annexe I et [O'Leary et Rutkowski, 1982] donnent des renseignements détaillés sur la méthode de multiplication simplifiée et sur les bases physiques de cette méthode. Pour la méthode log-normale, ces mêmes renseignements se trouvent dans l'Annexe II et dans [Bobkova et Pavliouk, 1987].

2. Méthode de la somme quadratique

Cette méthode a été utilisée, pour les brouillages multiples, par la Conférence de radiodiffusion à ondes kilométriques et hectométriques pour les Régions 1 et 3 (Genève, 1975) et par les Conférences administratives des radiocommunications pour le service de radiodiffusion par satellite (Genève, 1977 et 1983). Une méthode analogue, appelée «Méthode RSS», a été utilisée par la Conférence administrative régionale de radiodiffusion à ondes hectométriques (Région 2), Rio de Janeiro, 1981.

* Ce Rapport doit être porté à l'attention des Commissions d'études 1 et 11.

Les courbes de propagation utilisées à ces Conférences faisaient apparaître une faible variation par rapport à l'emplacement. La méthode peut aussi être appliquée lorsqu'il y a une variation significative en fonction de l'emplacement et elle est fondée sur les hypothèses suivantes:

- aucune corrélation n'existe entre les amplitudes et la relation de phase aléatoire pour les signaux brouilleurs et le signal utile au point de réception;
- il est tenu compte de l'effet des bruits naturels et artificiels en prenant comme source de brouillage le champ minimal utilisable.

On peut utiliser l'expression simple ci-après pour l'ensemble de ces brouillages lorsque le champ utile et le champ brouilleur peuvent être considérés comme stables:

$$E_u = \sqrt{\sum_i (a_i b_i E_{ni})^2 + E_{min}^2} \quad (1)$$

où

- E_u : champ utilisable
- E_{ni} : champ du i ème émetteur brouilleur
- E_{min} : champ minimal utilisable
- a_i : rapport de protection RF associé au i ème émetteur brouilleur, exprimé en valeur numérique
- b_i : discrimination de l'antenne de réception dans la direction du i ème émetteur brouilleur, représentant le gain relatif par rapport à la direction du signal utile exprimée en valeur numérique du rapport des champs

et où les divers champs au point de réception sont exprimés en $\mu\text{V}/\text{m}$.

En cas de fluctuation des champs et du bruit, on peut utiliser une expression modifiée qui inclut une marge pour l'évanouissement:

$$E_{u(100-t)} = \sqrt{F_{n(t)}^2 E_{min(50)}^2 + \sum_i (a_i b_i E_{ni(t)})^2} \quad (2)$$

où:

- $E_{u(100-t)}$: champ utilisable pendant $(100 - t)\%$ du temps
- $E_{min(50)}$: valeur minimale du champ nécessaire pour permettre la qualité de réception voulue en présence de bruit pendant 50% du temps
- $F_{n(t)}$: marge de protection contre les évanouissements pour tenir compte du bruit pendant $t\%$ du temps, exprimée en valeur numérique du rapport des champs
- $E_{ni(t)}$: champ du i ème émetteur brouilleur pendant $t\%$ du temps. $E_{ni(t)}$ est soit la valeur déduite de la courbe de propagation appropriée, soit la valeur moyenne $E_{ni(50)}$ plus la marge de protection contre les évanouissements pour tenir compte des signaux brouilleurs pendant $t\%$ du temps, exprimée en valeur numérique du rapport des champs.

Les autres symboles ont la même signification que dans la formule (1).

3. Méthodes statistiques

On a mis au point jusqu'à présent quatre méthodes de calcul statistique pour déterminer les brouillages multiples [Comité ad hoc, 1949 et 1950]. Ce sont:

- la méthode d'intégration;
- la méthode «log-normale»;
- la méthode de multiplication;
- la méthode de multiplication simplifiée.

Dans ces méthodes, on utilise le caractère statistique (en fonction des lieux) des courbes de propagation données dans la Recommandation 370. Les méthodes se fondent essentiellement sur une approche théorique commune, mais elles diffèrent les unes des autres par les hypothèses physiques faites et dont l'objet est de simplifier les calculs. Avec ces méthodes, on obtient des fonctions de distribution qui donnent la probabilité de réception en fonction des emplacements; ces probabilités sont utilisées comme indiqué dans les Rapports 228 et 485 pour déterminer la couverture.

La méthode de multiplication simplifiée et la méthode log-normale sont les moins complexes. La première a été utilisée pour évaluer les brouillages multiples lors de la Conférence européenne de radiodiffusion à ondes métriques et décimétriques (1961), de la Conférence africaine de radiodiffusion (1963) et de la Conférence administrative régionale de radiodiffusion sonore en modulation de fréquence dans la bande des ondes métriques (Genève, 1984).

3.1 La méthode de multiplication simplifiée

Cette méthode suppose:

- qu'il n'y a aucune corrélation entre les champs;
- que les variations dans le temps du champ de l'émetteur utile sont négligeables, par rapport à celles de l'émetteur brouilleur;
- qu'au point de réception, il existe un champ brouilleur prédominant;
- que l'effet du bruit est négligeable, afin de compenser les erreurs introduites par les autres approximations.

Le champ utilisable, E_u , est déterminé pour une certaine probabilité de couverture (en fonction du temps et des emplacements); il dépend des champs brouilleurs:

$$E_{si} = P_i + E_{ni(50, T)} + A_i + B_i \quad (3)$$

où:

- E_{si} : champ brouilleur correspondant au i ème émetteur brouilleur
- P_i : p.a.r., en dB(kW), du i ème émetteur brouilleur
- $E_{ni(50, T)}$: champ, en dB(μ V/m), normalisé par rapport à une p.a.r. de 1 kW, du i ème émetteur brouilleur. Ce champ est dépassé en 50% des emplacements pendant au moins T % du temps (par exemple 1%)
- A_i : rapport de protection RF correspondant au i ème émetteur brouilleur, en dB
- B_i : discrimination de l'antenne de réception, en dB.

Si l'on admet une distribution normale du champ exprimée en dB(μ V/m), on peut tenir compte de façon appropriée de l'effet des brouillages multiples en utilisant la méthode de multiplication simplifiée. Celle-ci permet de calculer le champ utilisable, E_u , par itération en appliquant la formule:

$$p_c = \prod_{i=1}^n L(x_i) \quad (4)$$

avec:

$$x_i = \frac{E_u - E_{si}}{\sigma_n \sqrt{2}}$$

où:

- p_c : probabilité de couverture (par exemple, pour 50% des emplacements et $(100 - T)$ % du temps) en présence de n champs perturbateurs
- $L(x)$: probabilité de couverture en présence d'un seul champ perturbateur, égale à l'intégrale de probabilité pour une distribution normale (voir l'Annexe I)
- σ_n : écart type, en fonction des emplacements, du champ utile et du champ brouilleur (dB(μ V/m)) (voir l'Annexe I).

Pour de plus amples détails, on se reportera à l'Annexe I et à [O'Leary et Rutkowski, 1982].

3.2 La méthode log-normale

Cette méthode suppose:

- qu'il n'y a aucune corrélation entre les champs;
- que la variabilité d'emplacement, entre le champ de l'émetteur utile et celui des émetteurs brouilleurs est la même pour tous les émetteurs brouilleurs;

- que l'effet de certains champs brouilleurs, qui obéissent tous à une loi log-normale, est remplacé au point de réception par l'effet d'un seul champ brouilleur résultant qui obéit à la même loi log-normale avec les paramètres suivants [Fenton, 1960; Bobkova et Pavliouk, 1987]:

$$E_r = 0.1152 \sigma^2 + 10 \log \left(\sum_i m_{si} \right) - 5 \log U$$

$$\sigma_r = 6.58 \sqrt{\log U}$$

$$U = \frac{(k - 1) \sum_i m_{si}^2}{\left(\sum_i m_{si} \right)^2} + 1$$

$$k = \exp \left[\left(\frac{\sigma}{4,34} \right)^2 \right]$$

$$M_{si} = 10^{E_{si}/10}$$

- Où:
- E_{si} = champ brouilleur correspondant au ième émetteur brouilleur, exprimé par la formule (3);
 - E_r = valeur médiane du champ brouilleur résultant, exprimée en décibels;
 - σ, σ_r = respectivement, écarts types en fonction de l'emplacement des champs brouilleurs et du champ brouilleur résultant, exprimés en décibels;

- que le champ utilisable (pour la planification de la radiodiffusion sonore et télévisuelle) est déterminé en L% des emplacements où les conditions suivantes sont satisfaites simultanément:

- a) le signal utile dépasse le niveau de bruit de la quantité souhaitée, et
- b) l'obtention du rapport de protection nécessaire, soit:

$$E_u \geq E_{min} \quad (50\% \text{ des emplacements et } 50\% \text{ du temps}),$$

$$E_u \geq E_{si} \quad (50\% \text{ des emplacements et } 50\% \text{ du temps}),$$

La condition b) est satisfaisante si le champ utilisable, E_{u1} est égal à E_r . La probabilité pour que les deux conditions a) et b) soient satisfaites simultanément est égale au produit de leurs probabilités respectives:

$$P_c = P_1 \cdot P_2 = L \left(\frac{E_{u1} - E_r}{\sqrt{\sigma^2 + \sigma_r^2}} \right) \cdot L \left(\frac{E_{u1} - E_{min}}{\sigma} \right)$$

- Où P_1, P_2 = probabilités pour que soient satisfaites respectivement les conditions a) et b); on détermine leurs valeurs à l'aide d'une courbe de distribution normalisée pour la loi normale.

et $L(x)$ est l'intégrale de probabilité (voir la formule (8) de l'Annexe 1).



Si la valeur trouvée pour p_c satisfait à la valeur prédéterminée de la probabilité de couverture de p_{cp} (en général, $p_{cp} = 0,5$, c'est-à-dire que E_u est déterminé pour 50% des points de réception), on a $E_u = E_{u1}$, ce qui met fin au calcul. En revanche, si $p_c \neq 0,5$, on continue le calcul du champ utilisable par itération, en appliquant la formule:

$$E_u = E_{u1} + \frac{0,5 - p}{0,05}$$

Les détails du calcul sont exposés dans l'Annexe II et dans [Bobkova et Pavliouk, 1987].

La méthode log-normale simplifiée

Si, comme pour la méthode de la somme quadratique, on admet qu'il est possible de traiter l'effet du brouillage artificiel ou de tout autre bruit en considérant comme source de brouillage le champ minimal utilisable, la fluctuation du champ correspondant étant elle aussi soumise à la loi log-normale, cette méthode peut être simplifiée de manière à donner une procédure non-itérative de détermination du champ utilisable à une seule étape pour 50% des points de réception [Bobkova, 1988].

Selon cette hypothèse, on peut introduire E_{min} dans la formule pour déterminer le champ résultant qui peut être source de brouillage supplémentaire:

$$E_{rs} = 0,1152 \sigma^2 + 10 \lg \left(\sum_i M_i + M_{min} \right) - 5 \lg U_s,$$

$$\text{ou } U_s = \frac{(k - 1) \left(\sum_i M_i^2 + M_{min}^2 \right)}{\left(\sum_i M_i + M_{min} \right)^2} + 1,$$

M_{min} : valeur moyenne du champ minimal utilisable, exprimée en unités de puissance relative.

La valeur de E_{rs} ainsi obtenue détermine directement la moyenne du champ utilisable (c'est-à-dire pour 50% des points de réception). Pour tout autre pourcentage d'emplacements requis, l'application d'une procédure d'itération identique à celle que l'on utilise dans la méthode log-normale courante permet d'obtenir la valeur du champ utilisable, grâce à la formule suivante:

$$P_{cp} = L \left(\frac{E_u - E_{rs}}{\sqrt{\sigma^2 + \sigma_{rs}^2}} \right)$$

Où P_{cp} : valeur prédéterminée de la probabilité de couverture

σ_{rs} : écart en valeur efficace du champ de brouillage résultant, déterminé par la formule ci-dessus, dans laquelle la valeur de U_s aura été substituée.

4. Comparaison des résultats obtenus par les différentes méthodes

Les paragraphes 4.1 et 4.2 traitent particulièrement de la méthode de multiplication simplifiée et de la méthode de la somme quadratique tandis que le paragraphe 4.3 porte sur les considérations relatives à la méthode log-normale.

4.1 *Considérations générales*

On trouvera ci-après une comparaison entre les résultats des deux méthodes, appliquées dans les mêmes conditions (aucune discrimination de l'antenne de réception). L'objet de cette comparaison est de donner une estimation de la différence probable si on utilise l'une ou l'autre méthode et non de préconiser l'emploi de l'une de préférence à l'autre. On peut noter, à cet égard, que chacune de ces méthodes ne donne que des valeurs approximatives du champ utilisable.

Les deux méthodes peuvent donner des résultats très différents et il convient d'être très prudent pour en tirer des conclusions, en ce qui concerne par exemple le nombre des canaux nécessaires pour une couverture satisfaisante avec un seul programme.

Néanmoins, il faut reconnaître qu'on obtient des précisions comparables avec les deux méthodes s'il s'agit de comparer plusieurs variantes d'un même plan.

4.2 *Résultats*

Les Fig. 1 et 2 donnent les valeurs de la différence ΔE entre les champs utilisables calculés, d'une part, avec la méthode de multiplication simplifiée (E_M) pour 45% et 50% des emplacements et, d'autre part, avec la méthode de la somme quadratique (E_P) pour un pourcentage indéterminé des emplacements. Les différences ΔE dépendent de la relation entre les probabilités de brouillage des différents émetteurs, c'est-à-dire de leurs caractéristiques techniques, de leur distance par rapport à l'émetteur utile et de l'espacement des canaux. Normalement, un brouilleur dominant produit un champ perturbateur E_1 , suivi d'un deuxième brouilleur moins important donnant un champ E_2 , les autres émetteurs brouilleurs donnant des champs $E_3 \dots E_n$, qui diminuent progressivement.



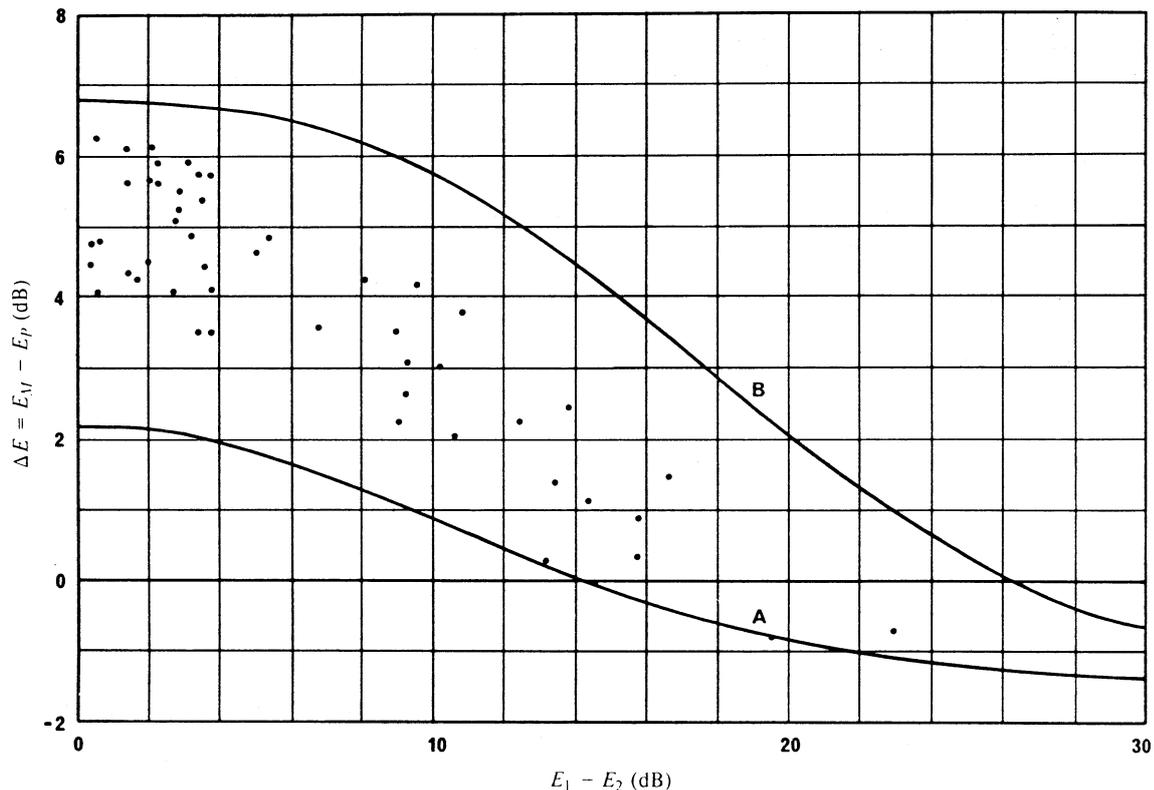


FIGURE 1 - Différence entre les champs utilisables, ΔE , en fonction de la différence entre les champs brouilleurs E_1 et E_2 . Pourcentage d'emplacements pour la méthode de multiplication simplifiée: 45%

- : 50 émetteurs
- $E_1 - E_2$: différence entre les champs brouilleurs des deux émetteurs les plus puissants
- $\Delta E = E_M - E_P$: différence entre les champs utilisables obtenus avec la méthode de multiplication simplifiée (E_M) et la méthode de la somme en puissance (E_P)
- Courbes A : courbe limite obtenue pour le cas de 2 champs brouilleurs E_1 et E_2
- B : courbe limite obtenue pour le cas de 10 champs brouilleurs E_1 et 9 fois la valeur de E_2

Les Fig. 1 et 2 donnent les valeurs de

$$\Delta E = E_M - E_P = f(E_1 - E_2)$$

pour 50 valeurs de ΔE obtenues avec les 50 premiers (en ordre alphabétique) des 345 émetteurs fonctionnant actuellement en République fédérale d'Allemagne. Ces 50 valeurs sont censées représenter ces 345 émetteurs MF à ondes métriques. En outre, deux courbes limites, A et B, ont été ajoutées, entre lesquelles se situent les 50 valeurs obtenues. Ces courbes tiennent compte des n sources brouilleuses $E_1 \dots E_n$ de différentes manières: pour la courbe limite inférieure A, seuls les champs brouilleurs E_1 et E_2 sont pris en considération, alors que pour la courbe limite supérieure B, il y a $(n - 2) = 8$ sources supplémentaires de brouillage égales en importance à E_2 :

$$E_2 = E_3 = E_4 = \dots = E_{10}$$

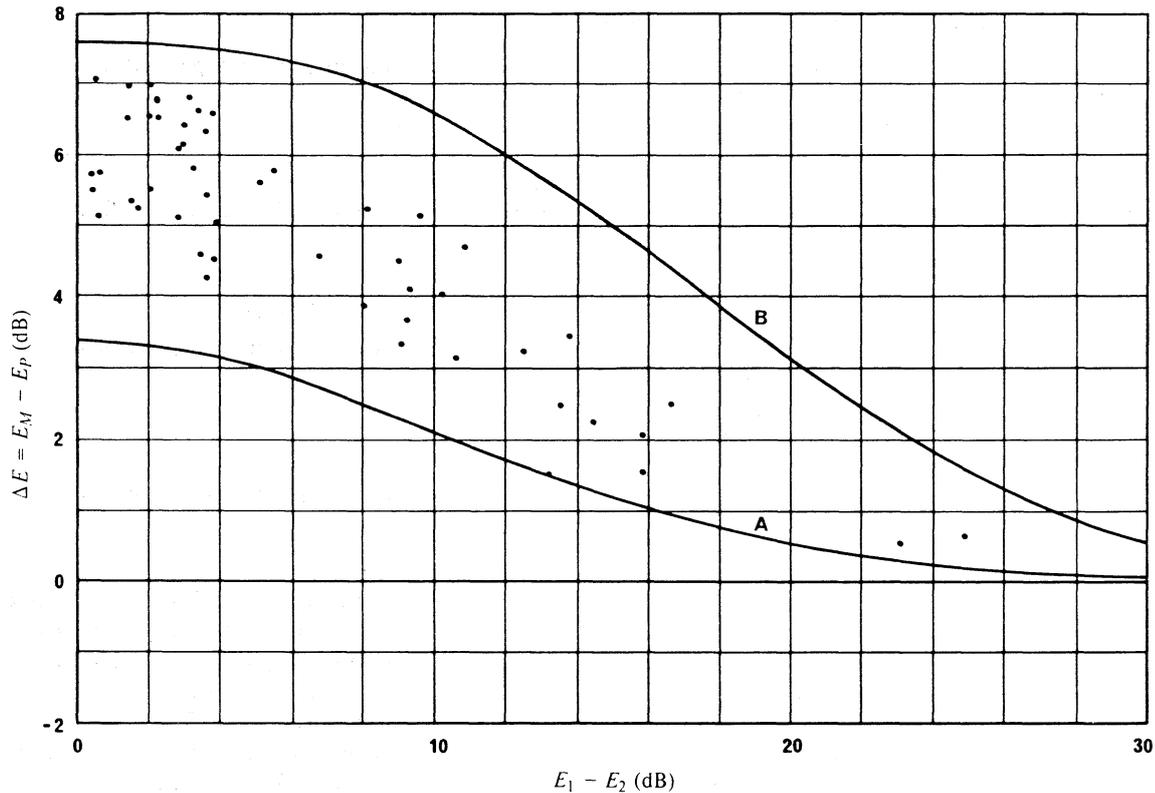


FIGURE 2 - Différence entre les champs utilisables, ΔE , en fonction de la différence entre les champs brouilleurs E_1 et E_2 . Pourcentage d'emplacements pour la méthode de multiplication simplifiée: 50%

• : 50 émetteurs

$E_1 - E_2$: différence entre les champs brouilleurs des deux émetteurs les plus puissants

$\Delta E = E_M - E_P$: différence entre les champs utilisables obtenus avec la méthode de multiplication simplifiée (E_M) et la méthode de la somme en puissance (E_P)

Courbes A : courbe limite obtenue pour le cas de 2 champs brouilleurs E_1 et E_2

B : courbe limite obtenue pour le cas de 10 champs brouilleurs E_1 et 9 fois la valeur de E_2

Il ressort des Fig. 1 et 2 que, dans la majorité des cas, la méthode de multiplication simplifiée donne des valeurs plus fortes (jusqu'à environ 7 dB) que les valeurs obtenues avec la méthode de la somme quadratique, selon la configuration du réseau.

On a obtenu des résultats pratiquement analogues dans une analyse des champs utilisables pour 1177 assignations britanniques figurant dans le Plan de radiodiffusion sonore en modulation de fréquence dans la bande des ondes métriques pour la Région 1, Genève, 1984, comme indiqué ci-après:

Pourcentage d'assignations	Rapport (dB) du champ utilisable dépassé Multiplication simplifiée: somme en puissance
4	7
50	5
85	3

Note. - Les calculs ont tenu compte des 20 premières sources brouilleuses.

- Les résultats pour la méthode de multiplication simplifiée sont basés sur une probabilité d'emplacements de 50%.

On doit noter que toutes ces comparaisons sont relatives à la bande métrique. Les différences entre les deux méthodes seraient supérieures en B.dB par suite de la valeur plus importante de l'écart type en fonction de l'emplacements.

4.3 Considération des corrélations d'emplacements entre les champs

S'il n'existe pas de corrélation d'emplacement entre les champs utiles et brouilleurs, l'écart type total de la variation en fonction de l'emplacement se calcule comme suit:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_s^2} = \sigma_n \sqrt{2} \quad (5)$$

où σ_n et σ_s sont les écarts types en fonction de l'emplacement pour le signal utile et le signal brouilleur, respectivement et sont considérés comme identiques avec les valeurs suivantes:

- 8,3 dB pour les bandes I à III
- 9,5 + 0,405 g dB dans les bandes IV et V (g étant une fonction de Δh , voir le § 2 de l'Annexe I).

Par ailleurs, la relation (5) correspond au cas particulier du coefficient de corrélation d'emplacements $\rho = 0$ dans l'expression générale:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_n^2 - 2\rho\sigma_n\sigma_s + \sigma_s^2}$$

Quand ρ est positif, les valeurs de σ diminuent et il en est donc de même des champs utilisables résultants lorsqu'on utilise la méthode de multiplication simplifiée (mms).

La Figure 3 illustre les relations qui existent entre les champs utilisables obtenus respectivement par la méthode de multiplication simplifiée (m.m.s.), la méthode de la somme quadratique et la méthode log-normale. Pour plus de simplicité, les calculs ont été faits dans un cas où tous les champs brouilleurs auraient la même valeur. Les résultats donnés dans la Figure 3 et aussi dans [Bobkova et Pavliouk, 1987] montrent que la méthode log-normale fournit toujours des valeurs qui sont intermédiaires entre ceux calculés respectivement par la méthode de multiplication simplifiée (cas limite pour $\rho = 0$) et la méthode de la somme quadratique. L'écart entre la courbe C (méthode log-normale) et la courbe B est faible. (m.m.s pour $\rho = 0,25$).

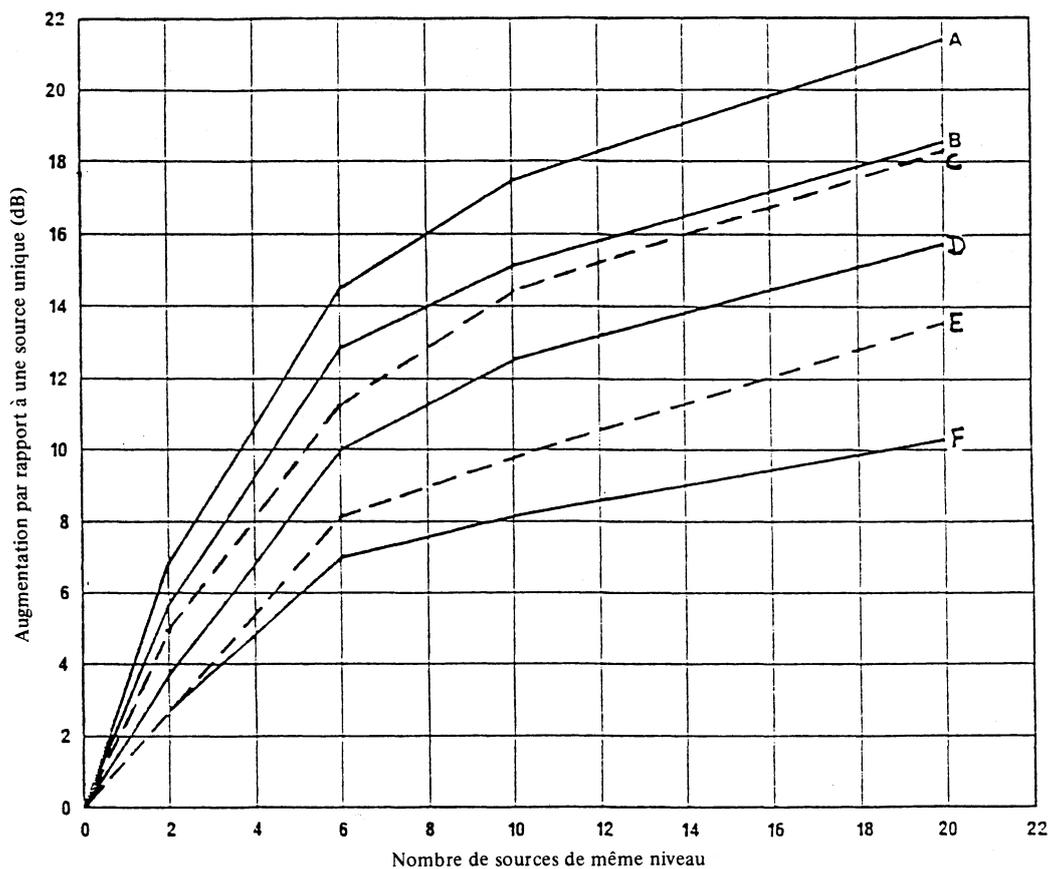


FIGURE 3

- A: m.m.s. avec $\rho = 0$
- B: m.m.s. avec $\rho = 0,25$
- C: méthode log-normale
- D: m.m.s. avec $\rho = 0,5$
- E: Méthode de la somme en puissance
- F: m.m.s. avec $\rho = 0,75$

On a réalisé une série d'expériences au Royaume-Uni en B.m et B.dm pour établir les valeurs types de ρ rencontrées en pratique. Les valeurs obtenues se situent dans la plupart des cas entre 0,25 et 0,75 avec une tendance vers les valeurs les plus élevées quand les signaux proviennent de la même direction. On a noté aussi, comme on pouvait s'y attendre, des valeurs inférieures à cette plage (mais cependant toujours positives) lorsque l'un des émetteurs se situe à l'intérieur de la zone faisant l'objet de l'expérience.

La Figure 4 illustre la différence constatée entre la valeur du champ utilisable (ΔE_u) obtenue avec la méthode log-normale (E_r) et celle que l'on obtient avec la méthode log-normale simplifiée ($E_{r,s}$), $\Delta E_u = E_r - E_{r,s}$, en présence, au point de réception, de six champs de brouillage équivalents, comme c'est le cas avec le réseau régulier (Rapport 944). Sur cette figure, l'abscisse représente la différence (ΔE_s) entre la valeur du champ brouilleur $E_{s,i}$ et celle du champ minimal utilisable: $\Delta E_s = E_{s,i} - E_{min}$.

Cette figure montre que les deux méthodes fournissent des résultats identiques dans le cas de $E_{s,i} \geq E_{min} + 2$ dB: lorsque $E_{s,i} = E_{min}$, la différence n'est que de 0,1 dB. La différence maximale, qui est de 1,7 dB, se produit lorsque $E_{s,i} \leq E_{min} - 10$ dB, c'est-à-dire lorsque le niveau de brouillage actif est très bas et que la taille de la zone de service de l'émetteur utile dépend entièrement et exclusivement de la valeur du champ minimal utilisable qui a été sélectionnée.

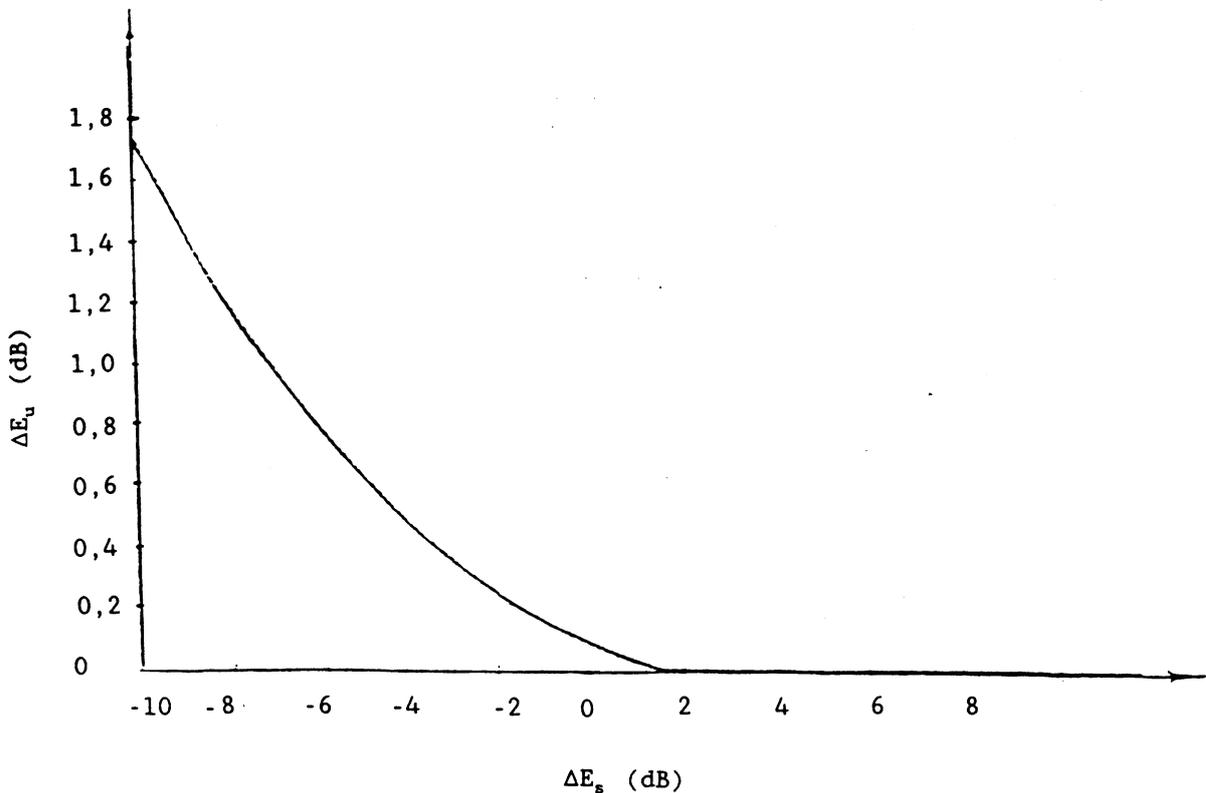


FIGURE 4

Différence entre la valeur du champ utilisable obtenue avec la méthode log-normale standard et celle obtenue selon la méthode log-normale simplifiée

5. Conclusions

La méthode de multiplication simplifiée, la méthode log-normale et la méthode log-normale simplifiée, qui sont à caractère statistique, peuvent être appliquées dans les évaluations du brouillage pour un pourcentage quelconque d'emplacements. Pour les calculs effectués sur 50% des points de réception et pour 50% du temps, la méthode log-normale simplifiée est la plus économique de ces méthodes statistiques, du point de vue temps de calcul. La méthode de la somme quadratique est elle aussi relativement simple, mais elle a tendance à donner des résultats plus optimistes que la méthode de multiplication simplifiée.

Le fait d'envisager des valeurs réalistes de la corrélation dans une méthode de multiplication simplifiée modifiée réduirait sensiblement les différences observées entre celle-ci et celle de la somme en puissance, notamment dans les cas où le facteur de corrélation se situe entre 0,5 et 0,75. D'autres études restent cependant nécessaires pour établir les valeurs du coefficient de corrélation des emplacements ρ applicables à différents types de terrain.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

COMITÉ AD HOC [1949-1950] Report of the ad hoc Committee for the evaluation of the radio propagation factors concerning the television and frequency modulation broadcasting service in the frequency range between 50 and 250 Mc. Volume I, 31 mai 1949, Volume II, 7 juillet 1950, Appendices B, C, D, E, références E et L.

BOBKOVA, E.N., et PAVLIOUK, A.P., Comparative analysis of different interfering field strength combination methods. 7ème Symposium International sur la compatibilité électromagnétique. Zurich, mars 1987.

BOBKOVA, E.N. [juin 1988] - Predlagaemye uprochtcheniya v log-normalnom metode rastcheta ispolzouemoi napryajennosti polya (Proposition de simplification de la méthode log-normale de calcul du champ utilisable), 9ème Symposium international sur la comptabilité électromagnétique, Wroclaw.

FENTON L.F., The sum of log-normal probability distributions. IRE Trans. on communication systems. Vol. CS-8, 1, mars 1960."

KUBRAKOV, V.B., MANAENKOVA, G.S., SEMENOV, V.V., et CHERGUINA, Z.A., Avtomatizirovannaya sistema oucheta i proektirovaniya seti TV peredatchikov na baze EVM. (Système automatique pour le calcul et la planification informatisés d'un réseau d'émetteurs de télévision) - Elektrosvyaz, No. 2, 1985.

O'LEARY, T. et RUTKOWSKI, J. [décembre 1982] Combinaison de champs brouilleurs multiples: la méthode de multiplication simplifiée et ses bases physiques et mathématiques. *J. des Télécomm.*, Vol. 49, XII, 823-831.

ANNEXE I

MÉTHODE DE MULTIPLICATION SIMPLIFIÉE POUR LE CALCUL DES CHAMPS UTILISABLES (EN RADIODIFFUSION SONORE EN MF)

1. Introduction

On a proposé, sur le plan international [CCIR, 1961], de déterminer l'influence des brouilleurs (dans le même canal, dans le canal adjacent et dans le canal image) au moyen de la méthode de multiplication simplifiée, méthode élaborée par la FCC [Comité ad hoc, 1949 et 1950] et dont on trouve une description dans le document [Grosskopf, 1952]. Les paragraphes qui suivent donnent des explications sur l'utilisation pratique de cette méthode sans s'attarder sur les justifications théoriques.

2. Notion de champ utilisable

Le champ utilisable, E_u , est une grandeur qui caractérise les conditions de couverture. Pour calculer ce champ, il faut déterminer tous les émetteurs:

- qui sont situés en deçà d'une certaine distance de l'émetteur utile (d'après l'expérience: jusqu'à 800 km, selon la valeur de Δf);
- qui pourraient causer un brouillage, compte tenu du rapport de protection nécessaire, A_i .

Pour les n émetteurs brouilleurs ainsi déterminés, le champ perturbateur, E_{si} , est donné par la formule:

$$E_{si} = P_i + E_{ni(50, T)} + A_i + B_i \quad (6)$$

où:

$E_{ni(50, T)}$: champ (dB(μ V/m)) du signal brouilleur normalisé à la puissance apparente rayonnée (p.a.r.) de 1 kW en 50% des emplacements pendant $T\%$ du temps (valeur déduite des courbes de champ de la Recommandation 370)

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

A_i : rapport de protection (dB)

B_i : discrimination de l'antenne de réception (dB).

Le champ utilisable, E_u , fonction des n champs perturbateurs E_{si} , se calcule à l'aide de la formule:

$$p_c = \prod_{i=1}^n L(x_i) \quad (7)$$

avec:

$$x_i = \frac{E_u - E_{si}}{\sigma_n \sqrt{2}}$$

où:

p_c : probabilité de couverture. Pour entamer le calcul de E_u par itération, on prend une valeur prédéterminée, p_{cp} , de la probabilité de couverture, par exemple, $p_{cp} = 0,5$. Avec la valeur de E_u obtenue à la fin de l'itération, la probabilité de couverture est $p_c = p_{cp} = 0,5$, c'est-à-dire 50% des emplacements.

Note. - On peut prendre pour p_c n'importe quelle valeur de la probabilité de couverture (par exemple, 45% $\rightarrow p_c = 0,45$).

L : intégrale de probabilité correspondant à une distribution normale:

$$L(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x [\exp(-t^2/2)] dt \quad (8)$$

Dans cette fonction, x désigne la différence entre le niveau du champ utilisable, E_u , et celui du champ perturbateur, E_{si} , rapportés à σ , écart type (emplacements) de la différence de niveaux résultante.

On adopte par hypothèse des valeurs égales pour les écarts types (emplacements) des émetteurs utiles et brouilleurs: $\sigma_n = \sigma_s$. On obtient ainsi l'expression suivante pour l'écart type de la différence de niveaux résultante:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_s^2} = \sigma_n \sqrt{2}$$

On admet $\sigma_n = 8,3$ dB pour les bandes de fréquences I à III. Pour la bande IV/V, la valeur dépend de l'affaiblissement dû au terrain, g . La valeur de σ s'obtient alors à l'aide de la formule $\sigma_n = 9,5 + 0,405 g$. Le facteur de correction d'affaiblissement du terrain, g (dB), peut être déduit de Δh (voir la Recommandation 370).

3. Calcul de l'intégrale de probabilité

3.1 Evaluation par tabulation

L'intégrale de probabilité est la suivante:

$$\varphi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x [\exp(-t^2/2)] dt \quad (9)$$

Ses valeurs numériques sont données dans le Tableau I.

Puisque

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} [\exp(-t^2/2)] dt = 1$$

et

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 [\exp(-t^2/2)] dt = 1/2$$

on obtient:

$$L(x) = \frac{\varphi(x)}{2} + 1/2$$

3.2 Evaluation par l'approximation de Hastings

L'approximation rationnelle suivante est très utile si les calculs sont à effectuer sur ordinateur (ou sur calculatrice programmable de poche ou de table):

$$\text{pour } x \geq 0 : \quad L(x) = 1 - \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} e^{-x^2/2} H(y) \quad (10)$$

$$\text{pour } x < 0 : \quad L(x) = 1 - L(-x)$$

$$\text{où:} \quad H(y) = C_5 y^5 + C_4 y^4 + C_3 y^3 + C_2 y^2 + C_1 y^1$$

$$\text{et } y = [1 + 0,2316419 |x|]^{-1}$$

$$C_5 = 1,330274429$$

$$C_4 = -1,821255978$$

$$C_3 = 1,781477937$$

$$C_2 = -0,356563782$$

$$C_1 = 0,319381530$$

Cette approximation (10) permet d'éviter l'intégration (8) et l'utilisation de tableaux pour évaluer l'intégrale de probabilité. L'erreur est inférieure à 10^{-7} .

4. Méthodes de calcul pratiques pour déterminer le champ utilisable

Etant donné qu'il est impossible de résoudre explicitement l'équation (7) en E_u pour une valeur prédéterminée p_{cp} (par exemple, $p_{cp} = 0,5$), il faut la résoudre par itération. En partant d'une valeur initiale de E_u qui, d'après l'expérience, devrait être supérieure d'environ 6 dB à la plus grande valeur de E_{si} , on détermine successivement pour chaque E_{si} :

$$z_i = E_u - E_{si} = \Delta_i$$

$$x_i = \frac{\Delta_i}{\sigma_n \sqrt{2}} \quad (\text{dans les bandes I à III: } x_i = \Delta_i/11,738)$$

$\varphi(x_i)$ à partir du Tableau I

$$L(x_i) = \frac{\varphi(x_i)}{2} + \frac{1}{2}$$

Comme pour l'écart type on suppose qu'une valeur de $\sigma_n = 8,3$ dB s'applique aux bandes I à III, il semble approprié d'introduire le Tableau II dans lequel $L(x_i)$ est présenté comme une fonction de Δ_i pour $\sigma_n = 8,3$ dB. Dans les bandes IV et V, où $\sigma_n = 9,5 + 0,405 g$, le Tableau II peut aussi être utilisé une fois que les valeurs Δ_i ont été corrigées comme suit:

$$\Delta'_i = \Delta_i \cdot \frac{8,3}{9,5 + 0,405 g}$$

p_c est alors déterminé au moyen de l'équation (7). Si p_c est différent de p_{cp} (par exemple, $p_{cp} = 0,5$), la valeur ainsi obtenue sert de base pour corriger, dans le cadre du processus itératif, la valeur initiale de E_u . D'après l'expérience, on peut supposer que la correction correspond approximativement à:

$$\Delta E_u \approx \frac{p_{cp} - p_c}{0,05} \text{ dB}$$

Il faut ensuite continuer à déterminer E_u en répétant, avec la valeur de E_u corrigée, la détermination de nouvelles valeurs de Δ_i et $L(x_i)$ pour chaque E_{si} et d'une nouvelle valeur de p_c . Il convient de suivre cette procédure jusqu'à ce que la correction de la valeur ΔE_u soit inférieure à la limite de précision. Le Tableau III donne un exemple de la détermination itérative de E_u en présence de 5 champs brouilleurs ($\sigma_n = 8,3$ dB). Les valeurs de $L(x_i)$ proviennent du Tableau II.

TABLEAU I - Intégrale de probabilité

$$\varphi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x [\exp(-t^2/2)] dt$$

x	$\varphi(x)$	x	$\varphi(x)$	x	$\varphi(x)$	x	$\varphi(x)$
0,00	0,0000	0,60	0,4515	1,20	0,7699	1,80	0,9281
01	0,0080	61	0,4581	21	0,7737	81	0,9297
02	0,0160	62	0,4647	22	0,7775	82	0,9312
03	0,0239	63	0,4713	23	0,7813	83	0,9328
04	0,0319	64	0,4778	24	0,7850	84	0,9342
0,05	0,0399	0,65	0,4843	1,25	0,7887	1,85	0,9357
06	0,0478	66	0,4907	26	0,7923	86	0,9371
07	0,0558	67	0,4971	27	0,7959	87	0,9385
08	0,0638	68	0,5035	28	0,7995	88	0,9399
09	0,0717	69	0,5098	29	0,8029	89	0,9412
0,10	0,0797	0,70	0,5161	1,30	0,8064	1,90	0,9426
11	0,0876	71	0,5223	31	0,8098	91	0,9439
12	0,0955	72	0,5285	32	0,8132	92	0,9451
13	0,1034	73	0,5346	33	0,8165	93	0,9464
14	0,1113	74	0,5407	34	0,8198	94	0,9476
0,15	0,1192	0,75	0,5467	1,35	0,8230	1,95	0,9488
16	0,1271	76	0,5527	36	0,8262	96	0,9500
17	0,1350	77	0,5587	37	0,8293	97	0,9512
18	0,1428	78	0,5646	38	0,8324	98	0,9523
19	0,1507	79	0,5705	39	0,8355	99	0,9534
0,20	0,1585	0,80	0,5763	1,40	0,8385	2,00	0,9545
21	0,1663	81	0,5821	41	0,8415	05	0,9596
22	0,1741	82	0,5878	42	0,8444	10	0,9643
23	0,1819	83	0,5935	43	0,8473	15	0,9684
24	0,1897	84	0,5991	44	0,8501	20	0,9722
0,25	0,1974	0,85	0,6047	1,45	0,8529	2,25	0,9756
26	0,2041	86	0,6102	46	0,8557	30	0,9786
27	0,2128	87	0,6157	47	0,8584	35	0,9812
28	0,2205	88	0,6211	48	0,8611	40	0,9836
29	0,2282	89	0,6265	49	0,8638	45	0,9857
0,30	0,2358	0,90	0,6319	1,50	0,8664	2,50	0,9876
31	0,2434	91	0,6372	51	0,8690	55	0,9892
32	0,2510	92	0,6424	52	0,8715	60	0,9907
33	0,2586	93	0,6476	53	0,8740	65	0,9920
34	0,2661	94	0,6528	54	0,8764	70	0,9931
0,35	0,2737	0,95	0,6579	1,55	0,8789	2,75	0,9940
36	0,2812	96	0,6629	56	0,8812	80	0,9949
37	0,2886	97	0,6680	57	0,8836	85	0,9956
38	0,2961	98	0,6729	58	0,8859	90	0,9963
39	0,3035	99	0,6778	59	0,8882	95	0,9968
0,40	0,3108	1,00	0,6827	1,60	0,8904	3,00	0,99730
41	0,3182	01	0,6875	61	0,8926	10	0,99806
42	0,3255	02	0,6923	62	0,8948	20	0,99863
43	0,3328	03	0,6970	63	0,8969	30	0,99903
44	0,3401	04	0,7017	64	0,8990	40	0,99933
0,45	0,3473	1,05	0,7063	1,65	0,9011	3,50	0,99953
46	0,3545	06	0,7109	66	0,9031	60	0,99968
47	0,3616	07	0,7154	67	0,9051	70	0,99978
48	0,3688	08	0,7199	68	0,9070	80	0,99986
49	0,3759	09	0,7243	69	0,9090	90	0,99990
0,50	0,3829	1,10	0,7287	1,70	0,9109	4,00	0,99994
51	0,3899	11	0,7330	71	0,9127		
52	0,3969	12	0,7373	72	0,9146	4,417	1 - 10 ⁻⁵
53	0,4039	13	0,7415	73	0,9164		
54	0,4108	14	0,7457	74	0,9181	4,892	1 - 10 ⁻⁶
0,55	0,4177	1,15	0,7499	1,75	0,9199	5,327	1 - 10 ⁻⁷
56	0,4245	16	0,7540	76	0,9216		
57	0,4313	17	0,7580	77	0,9233		
58	0,4381	18	0,7620	78	0,9249		
59	0,4448	19	0,7660	79	0,9265		
0,60	0,4515	1,20	0,7699	1,80	0,9281		

TABLEAU II *

Δ	$L(x)$	$-\log L(x)$												
.0	.50000	7.000	5.0	.66493	4.121	10.0	.80288	2.217	15.0	.89936	1.071	20.0	.95580	.457
.1	.50340	6.932	5.1	.66803	4.074	10.1	.80523	2.188	15.1	.90085	1.054	20.1	.95659	.448
.2	.50680	6.864	5.2	.67112	4.028	10.2	.80757	2.158	15.2	.90233	1.038	20.2	.95737	.440
.3	.51020	6.796	5.3	.67419	3.981	10.3	.80989	2.129	15.3	.90379	1.022	20.3	.95813	.432
.4	.51359	6.729	5.4	.67726	3.936	10.4	.81219	2.101	15.4	.90524	1.005	20.4	.95889	.424
.5	.51699	6.663	5.5	.68031	3.890	10.5	.81448	2.072	15.5	.90667	.989	20.5	.95964	.416
.6	.52038	6.596	5.6	.68335	3.845	10.6	.81675	2.044	15.6	.90808	.974	20.6	.96037	.408
.7	.52378	6.531	5.7	.68638	3.801	10.7	.81900	2.016	15.7	.90948	.958	20.7	.96109	.401
.8	.52717	6.466	5.8	.68939	3.756	10.8	.82124	1.989	15.8	.91086	.943	20.8	.96180	.393
.9	.53056	6.401	5.9	.69239	3.712	10.9	.82345	1.962	15.9	.91222	.928	20.9	.96251	.386
1.0	.53395	6.337	6.0	.69538	3.669	11.0	.82565	1.935	16.0	.91357	.913	21.0	.96320	.379
1.1	.53733	6.273	6.1	.69836	3.626	11.1	.82784	1.908	16.1	.91491	.898	21.1	.96388	.372
1.2	.54071	6.209	6.2	.70132	3.583	11.2	.83000	1.882	16.2	.91623	.884	21.2	.96455	.365
1.3	.54409	6.147	6.3	.70427	3.541	11.3	.83215	1.856	16.3	.91753	.869	21.3	.96521	.358
1.4	.54747	6.084	6.4	.70721	3.499	11.4	.83428	1.830	16.4	.91882	.855	21.4	.96586	.351
1.5	.55084	6.022	6.5	.71013	3.457	11.5	.83639	1.804	16.5	.92009	.841	21.5	.96650	.344
1.6	.55421	5.960	6.6	.71304	3.416	11.6	.83848	1.779	16.6	.92135	.827	21.6	.96713	.338
1.7	.55758	5.899	6.7	.71593	3.375	11.7	.84056	1.754	16.7	.92259	.814	21.7	.96775	.331
1.8	.56094	5.839	6.8	.71881	3.334	11.8	.84262	1.729	16.8	.92382	.800	21.8	.96836	.325
1.9	.56430	5.778	6.9	.72168	3.294	11.9	.84466	1.705	16.9	.92503	.787	21.9	.96896	.318
2.0	.56765	5.719	7.0	.72453	3.254	12.0	.84669	1.681	17.0	.92623	.774	22.0	.96955	.312
2.1	.57099	5.659	7.1	.72737	3.215	12.1	.84869	1.657	17.1	.92742	.761	22.1	.97013	.306
2.2	.57434	5.600	7.2	.73019	3.176	12.2	.85068	1.633	17.2	.92858	.748	22.2	.97071	.300
2.3	.57767	5.542	7.3	.73300	3.137	12.3	.85265	1.610	17.3	.92974	.736	22.3	.97127	.294
2.4	.58100	5.484	7.4	.73579	3.098	12.4	.85461	1.587	17.4	.93088	.723	22.4	.97183	.289
2.5	.58433	5.426	7.5	.73857	3.060	12.5	.85654	1.564	17.5	.93200	.711	22.5	.97237	.283
2.6	.58765	5.369	7.6	.74134	3.023	12.6	.85846	1.541	17.6	.93312	.699	22.6	.97291	.277
2.7	.59096	5.312	7.7	.74408	2.985	12.7	.86036	1.519	17.7	.93421	.687	22.7	.97344	.272
2.8	.59427	5.256	7.8	.74682	2.948	12.8	.86225	1.497	17.8	.93530	.676	22.8	.97396	.266
2.9	.59757	5.200	7.9	.74954	2.912	12.9	.86412	1.475	17.9	.93637	.664	22.9	.97447	.261
3.0	.60086	5.144	8.0	.75224	2.875	13.0	.86596	1.453	18.0	.93742	.653	23.0	.97497	.256
3.1	.60415	5.089	8.1	.75492	2.839	13.1	.86780	1.432	18.1	.93846	.641	23.1	.97546	.251
3.2	.60743	5.035	8.2	.75760	2.804	13.2	.86961	1.411	18.2	.93949	.630	23.2	.97595	.246
3.3	.61070	4.980	8.3	.76025	2.768	13.3	.87141	1.390	18.3	.94051	.619	23.3	.97643	.241
3.4	.61396	4.926	8.4	.76289	2.733	13.4	.87319	1.369	18.4	.94151	.609	23.4	.97690	.236
3.5	.61722	4.873	8.5	.76551	2.699	13.5	.87495	1.349	18.5	.94250	.598	23.5	.97736	.231
3.6	.62046	4.820	8.6	.76812	2.664	13.6	.87670	1.329	18.6	.94347	.588	23.6	.97781	.227
3.7	.62370	4.768	8.7	.77071	2.630	13.7	.87843	1.309	18.7	.94443	.577	23.7	.97826	.222
3.8	.62693	4.715	8.8	.77328	2.597	13.8	.88014	1.289	18.8	.94538	.567	23.8	.97870	.217
3.9	.63015	4.664	8.9	.77584	2.563	13.9	.88183	1.270	18.9	.94632	.557	23.9	.97913	.213
4.0	.63336	4.612	9.0	.77838	2.530	14.0	.88351	1.251	19.0	.94724	.547	24.0	.97956	.209
4.1	.63657	4.561	9.1	.78091	2.497	14.1	.88517	1.232	19.1	.94815	.538	24.1	.97997	.204
4.2	.63976	4.511	9.2	.78342	2.465	14.2	.88681	1.213	19.2	.94905	.528	24.2	.98038	.200
4.3	.64294	4.461	9.3	.78591	2.433	14.3	.88844	1.195	19.3	.94994	.519	24.3	.98078	.196
4.4	.64611	4.411	9.4	.78838	2.401	14.4	.89005	1.176	19.4	.95081	.509	24.4	.98118	.192
4.5	.64928	4.362	9.5	.79084	2.370	14.5	.89164	1.158	19.5	.95167	.500	24.5	.98157	.188
4.6	.65243	4.313	9.6	.79328	2.339	14.6	.89322	1.140	19.6	.95252	.491	24.6	.98195	.184
4.7	.65557	4.264	9.7	.79571	2.308	14.7	.89478	1.123	19.7	.95336	.482	24.7	.98232	.180
4.8	.65870	4.216	9.8	.79811	2.277	14.8	.89632	1.105	19.8	.95418	.474	24.8	.98269	.176
4.9	.66182	4.168	9.9	.80050	2.247	14.9	.89785	1.088	19.9	.95500	.465	24.9	.98305	.173

* Pour des raisons d'ordre pratique, ce Tableau est édité de la même manière dans les trois langues (la virgule des chiffres décimaux est remplacée par un point).

TABLEAU II (suite)

Δ	$L(x)$	$-\log L(x)$												
25.0	.98341	.169	30.0	.99470	.054	35.0	.99857	.014	40.0	.99967	.003	45.0	.99994	.001
25.1	.98376	.165	30.1	.99483	.052	35.1	.99861	.014	40.1	.99968	.003	45.1	.99994	.001
25.2	.98410	.162	30.2	.99496	.051	35.2	.99864	.014	40.2	.99969	.003	45.2	.99994	.001
25.3	.98443	.158	30.3	.99508	.050	35.3	.99868	.013	40.3	.99970	.003	45.3	.99994	.001
25.4	.98476	.155	30.4	.99520	.049	35.4	.99872	.013	40.4	.99971	.003	45.4	.99995	.001
25.5	.98509	.152	30.5	.99532	.047	35.5	.99875	.013	40.5	.99972	.003	45.5	.99995	.001
25.6	.98541	.148	30.6	.99543	.046	35.6	.99879	.012	40.6	.99973	.003	45.6	.99995	.001
25.7	.98572	.145	30.7	.99554	.045	35.7	.99882	.012	40.7	.99974	.003	45.7	.99995	.000
25.8	.98603	.142	30.8	.99565	.044	35.8	.99886	.012	40.8	.99975	.003	45.8	.99995	.000
25.9	.98633	.139	30.9	.99576	.043	35.9	.99889	.011	40.9	.99975	.002	45.9	.99995	.000
26.0	.98662	.136	31.0	.99587	.042	36.0	.99892	.011	41.0	.99976	.002	46.0	.99996	.000
26.1	.98691	.133	31.1	.99597	.041	36.1	.99895	.011	41.1	.99977	.002	46.1	.99996	.000
26.2	.98719	.130	31.2	.99607	.040	36.2	.99898	.010	41.2	.99978	.002	46.2	.99996	.000
26.3	.98747	.127	31.3	.99617	.039	36.3	.99901	.010	41.3	.99978	.002	46.3	.99996	.000
26.4	.98775	.125	31.4	.99626	.038	36.4	.99904	.010	41.4	.99979	.002	46.4	.99996	.000
26.5	.98802	.122	31.5	.99636	.037	36.5	.99906	.009	41.5	.99980	.002	46.5	.99996	.000
26.6	.98828	.119	31.6	.99645	.036	36.6	.99909	.009	41.6	.99980	.002	46.6	.99996	.000
26.7	.98854	.116	31.7	.99654	.035	36.7	.99912	.009	41.7	.99981	.002	46.7	.99997	.000
26.8	.98879	.114	31.8	.99663	.034	36.8	.99914	.009	41.8	.99982	.002	46.8	.99997	.000
26.9	.98904	.111	31.9	.99671	.033	36.9	.99917	.008	41.9	.99982	.002	46.9	.99997	.000
27.0	.98928	.109	32.0	.99680	.032	37.0	.99919	.008	42.0	.99983	.002	47.0	.99997	.000
27.1	.98952	.106	32.1	.99688	.032	37.1	.99921	.008	42.1	.99983	.002	47.1	.99997	.000
27.2	.98976	.104	32.2	.99696	.031	37.2	.99924	.008	42.2	.99984	.002	47.2	.99997	.000
27.3	.98999	.102	32.3	.99704	.030	37.3	.99926	.007	42.3	.99984	.002	47.3	.99997	.000
27.4	.99021	.099	32.4	.99711	.029	37.4	.99928	.007	42.4	.99985	.002	47.4	.99997	.000
27.5	.99043	.097	32.5	.99719	.028	37.5	.99930	.007	42.5	.99985	.001	47.5	.99997	.000
27.6	.99065	.095	32.6	.99726	.028	37.6	.99932	.007	42.6	.99986	.001	47.6	.99997	.000
27.7	.99086	.093	32.7	.99733	.027	37.7	.99934	.007	42.7	.99986	.001	47.7	.99998	.000
27.8	.99107	.091	32.8	.99740	.026	37.8	.99936	.006	42.8	.99987	.001	47.8	.99998	.000
27.9	.99127	.089	32.9	.99747	.026	37.9	.99938	.006	42.9	.99987	.001	47.9	.99998	.000
28.0	.99147	.087	33.0	.99753	.025	38.0	.99940	.006	43.0	.99988	.001	48.0	.99998	.000
28.1	.99167	.085	33.1	.99760	.024	38.1	.99941	.006	43.1	.99988	.001	48.1	.99998	.000
28.2	.99186	.083	33.2	.99766	.024	38.2	.99943	.006	43.2	.99988	.001	48.2	.99998	.000
28.3	.99205	.081	33.3	.99772	.023	38.3	.99945	.006	43.3	.99989	.001	48.3	.99998	.000
28.4	.99223	.079	33.4	.99778	.022	38.4	.99946	.005	43.4	.99989	.001	48.4	.99998	.000
28.5	.99241	.077	33.5	.99784	.022	38.5	.99948	.005	43.5	.99989	.001	48.5	.99998	.000
28.6	.99259	.075	33.6	.99790	.021	38.6	.99950	.005	43.6	.99990	.001	48.6	.99998	.000
28.7	.99276	.073	33.7	.99795	.021	38.7	.99951	.005	43.7	.99990	.001	48.7	.99998	.000
28.8	.99293	.072	33.8	.99801	.020	38.8	.99953	.005	43.8	.99990	.001	48.8	.99998	.000
28.9	.99309	.070	33.9	.99806	.020	38.9	.99954	.005	43.9	.99991	.001	48.9	.99998	.000
29.0	.99326	.068	34.0	.99811	.019	39.0	.99955	.005	44.0	.99991	.001	49.0	.99999	.000
29.1	.99341	.067	34.1	.99816	.019	39.1	.99957	.004	44.1	.99991	.001	49.1	.99999	.000
29.2	.99357	.065	34.2	.99821	.018	39.2	.99958	.004	44.2	.99992	.001	49.2	.99999	.000
29.3	.99372	.064	34.3	.99826	.018	39.3	.99959	.004	44.3	.99992	.001	49.3	.99999	.000
29.4	.99387	.062	34.4	.99831	.017	39.4	.99961	.004	44.4	.99992	.001	49.4	.99999	.000
29.5	.99402	.061	34.5	.99835	.017	39.5	.99962	.004	44.5	.99992	.001	49.5	.99999	.000
29.6	.99416	.059	34.6	.99840	.016	39.6	.99963	.004	44.6	.99993	.001	49.6	.99999	.000
29.7	.99430	.058	34.7	.99844	.016	39.7	.99964	.004	44.7	.99993	.001	49.7	.99999	.000
29.8	.99444	.056	34.8	.99849	.015	39.8	.99965	.004	44.8	.99993	.001	49.8	.99999	.000
29.9	.99457	.055	34.9	.99853	.015	39.9	.99966	.003	44.9	.99993	.001	49.9	.99999	.000

TABLEAU III

Approximation		1		2		3	
i	E_{si} (dB)	$E_u = 78$ dB		$E_u = 76,6$ dB		$E_u = 76,44$ dB	
		z_i (dB)	$L(x_i)$	z_i (dB)	$L(x_i)$	z_i (dB)	$L(x_i)$
1	64	14	0,8835	12,6	0,8585	12,44	0,8554
2	72	6	0,6954	4,6	0,6524	4,44	0,6474
3	60	18	0,9374	16,6	0,9214	16,44	0,9193
4	50	28	0,9915	26,6	0,9883	26,44	0,9878
5	45	33	0,9975	31,6	0,9964	31,44	0,9963
p_c		0,5696		0,5082		0,5010	
ΔE_u (dB)		$\approx -1,4$		$\approx -0,16$		$\approx -0,02$	

Le résultat du calcul itératif est $E_u = 76,42$ dB.

La nécessité d'effectuer de nombreuses multiplications avec des nombres d'au moins quatre chiffres suggère de simplifier encore la méthode en remplaçant les $L(x_i)$ par les logarithmes de leurs inverses. Cela réduirait les calculs à la sommation des valeurs de $-\log L(x_i)$. Pour faciliter encore le calcul de ΔE_u , il convient de choisir une base pour ces logarithmes, de façon que ΔE_u résulte immédiatement de la comparaison de la somme avec $-\log p_{cp}$ (logarithme de même base), par exemple: $-\log 0,5$ (50%).

Pour plus de commodité, les logarithmes $-L(x_i)$ sont inclus dans le Tableau II. Ils sont utilisés à titre d'exemple dans le Tableau IV. Le problème de brouillage sous-jacent et les résultats sont identiques dans les Tableaux III et IV.

TABLEAU IV

Approximation		1		2		3	
i	E_{si} (dB)	$E_u = 78$ dB		$E_u = 76,7$ dB		$E_u = 76,45$ dB	
		z_i (dB)	$-\log L(x_i)$	z_i (dB)	$-\log L(x_i)$	z_i (dB)	$-\log L(x_i)$
1	64	14	1,251	12,7	1,519	12,45	1,575
2	72	6	3,669	4,7	4,264	4,45	4,386
3	60	18	0,653	16,7	0,814	16,45	0,848
4	50	28	0,087	26,7	0,116	26,45	0,123
5	45	33	0,025	31,7	0,035	31,45	0,037
-	$-\log p_c$ $-\log 0,5$ (1)	5,685 -7,000		6,748 -7,000		6,969 -7,000	
ΔE_u (dB)		$\approx -1,3$		$\approx -0,25$		$\approx -0,03$	

(1) Pour $p_{cp} = 0,5$;

pour d'autres valeurs de p_{cp} : $-\log p_{cp} = (-7 \log p_{cp})/\log 2$;

par exemple, pour $p_{cp} = 0,45$: $-\log p_{cp} = 8,064$.

Le résultat du calcul itératif est: $E_u = 76,42$ dB.

Outre la procédure décrite ci-dessus, il en existe plusieurs autres pour appliquer la méthode de multiplication simplifiée; elles sont exposées dans une description plus complète de la méthode [UER, 1984]. Le choix de la procédure à laquelle il convient d'accorder la préférence peut dépendre des moyens de calcul dont dispose l'utilisateur.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CCIR [23 mars 1961] Rapport de la Réunion d'experts du CCIR pour la Conférence européenne de radiodiffusion à ondes métriques et décimétriques, Cannes, 1961, Doc. 64.
- COMITÉ AD HOC [1949-1950] Report of the ad hoc Committee for the evaluation of the radio propagation factors concerning the television and frequency modulation broadcasting service in the frequency range between 50 and 250 Mc. Volume I, 31 mai 1949, Volume II, 7 juillet 1950, Appendices B, C, D, E, références E et L.
- GROSSKOPF, J. [1952] Die Verfahren zur Ermittlung der Versorgungswahrscheinlichkeit im Feld eines von beliebig vielen Störsendern beeinflussten Nutzsenders (Méthodes pour déterminer la probabilité de couverture dans le champ d'un émetteur utile perturbé par un nombre arbitraire d'émetteurs brouilleurs) *Techn. Hausmitteilungen des NWDR*, Sonderheft, 18-34.
- UER [1984] Paramètres et méthodes de planification en VHF/MF. UER Tech. 3236.

BIBLIOGRAPHIE

Documents du CCIR

- [1978-82]: 10/237 (Allemagne (République fédérale d)); 10/240 (UER).
- [1982-86]: 10/16 (UER); 10/54 (Allemagne (République fédérale d)); 10/191 (Allemagne (République fédérale d)); 10/206 (Royaume-Uni); 10/217 (Espagne); 10/266 (UER).

ANNEXE II

UTILISATION DE LA METHODE LOG-NORMALE POUR LE CALCUL DU CHAMP UTILISABLE
(en radiodiffusion sonore et télévisuelle à modulation de fréquence)

1. Opérations successives du calcul manuel de E_U par la méthode log-normale, les symboles utilisés sont définis au § 3.2.

Ces opérations sont les suivantes:

- a) On cherche la valeur médiane de la perturbation résultant de n brouillages au point considéré, et l'écart-type correspondant:

$$E_r = 0,1152 \sigma^2 + 10 \log \left(\sum_i^n M_{s_i} \right) - 5 \log U, \text{ dB}$$

$$\sigma_r = 6,58 \sqrt{\log U}, \text{ dB}$$

On admet $\sigma_n = 8,3$ dB pour les bandes de fréquences I à III. Pour la bande IV/V, la valeur dépend de l'affaiblissement dû au terrain, g . La valeur de σ s'obtient alors à l'aide de la formule $\sigma_n = 9,5 + 0,405 g$. Le facteur de correction d'affaiblissement du terrain, g (dB), peut être déduit de Δh (voir la Recommandation 370).

- b) On pose $E_{U1} = E_r$ (voir note)

- c) On cherche la probabilité pour que $E_{U1} \geq E_r$:

$$P_1 = L(\Delta E_r) = 0,5 + \frac{\varphi(\Delta E_r)}{2}$$

$$\text{où} \quad \Delta E_r = \frac{E_{U1} - E_r}{\sigma_m}; \quad \sigma_m = \sqrt{\sigma^2 + \sigma_r^2}$$

Cette probabilité, $\varphi(\Delta E_r)$, est donnée par le § 3 de l'Annexe I, pour $x = \Delta E_r$

d) On cherche la probabilité pour que $E_{u1} \geq E_{\min}$:

$$P_2 = L(\Delta E_{\min}) = 0,5 + \frac{\varphi(\Delta E_{\min})}{2}$$

$$\text{où } \Delta E_{\min} = \frac{E_{u1} - E_{\min}}{\sigma}$$

Cette probabilité, $\varphi(\Delta E_{\min})$, est donnée par le § 3 de l'Annexe I, pour $x = \Delta E_{\min}$.

e) On détermine la probabilité pour que les deux inégalités soient satisfaites simultanément:

$$P_c = P_1 \cdot P_2.$$

f) Si la valeur obtenue pour p_c correspond à la valeur donnée: $p_{cp} = 0,5 \pm 0,01$, le calcul est terminé et on a: $E_u = E_{u1}$. Dans le cas contraire, on cherche la valeur de:

$$E_{u2} = E_{u1} + \frac{0,5 - p_c}{0,05}$$

et on répète le calcul à partir du deuxième point avec la nouvelle valeur de E_{u2} , et ainsi de suite jusqu'à ce que l'on obtienne la précision voulue.

Note.- Si $E_{si \max} - E_{\min} \geq 16,5$ dB, la valeur cherchée du champ utilisable est égale à la valeur obtenue pour E_r , et il est inutile de poursuivre le calcul.

2. Exemples de calcul manuel du champ utilisable

On trouvera ci-après un exemple de calcul du champ utilisable pour les mêmes valeurs de E_{si} que dans le Tableau III de l'Annexe I. Ce calcul est développé dans le Tableau V pour deux valeurs différentes de E_{\min} : 50 dB et 57 dB.

Le Tableau V montre que, après le calcul du brouillage résultant E_r équivalent à n champs brouilleurs E_{si} , la détermination du champ utilisable E_u peut se faire avec un nombre minimum d'opérations, selon la relation qui existe entre la valeur obtenue pour E_r et la valeur de E_{\min} .

TABLEAU V

1. Calcul de la valeur médiane du brouillage résultant et de son écart-type			
i	E_{Si} , dB	$E_R = 0,1152 \sigma^2 + 10 \lg \sum_i M_{Si} - 5 \lg U$, dB	$\sigma_R = 6,58(\lg U)^{1/2}$, dB
1	64	73,71	7,85
2	72		
3	60		
4	50		
5	45		

2. Calcul de E_u pour $E_{min} = 50$ dB				
1) Approximation $E_{u1} = E_R = 73,71$ dB				
$\Delta E_R = \frac{E_{u1} - E_R}{\sigma_m}$	$L(\Delta E_R)$	$\Delta E_{min} = \frac{E_{u1} - E_{min}}{\sigma}$	$L(\Delta E_{min})$	$p = L(\Delta E_R) L(\Delta E_{min})$
0	0,5	2,86	0,9978	0,4989
$E_u = E_{u1} + \frac{0,5-pc}{0,05} = 73,71 + 0,02 = 73,73$ dB				

3. Calcul de E_u pour $E_{min} = 57$ dB				
1) Approximation $E_{u1} = E_R = 73,71$ dB				
0	0,5	2,01	0,9772	0,488
$E_{u2} = E_{u1} + \frac{0,5-pc}{0,05} = 73,71 + 0,23 = 73,94$ dB				
2) Approximation $E_{u2} = 73,94$ dB				
0,02	0,508	2,04	0,9798	0,498
$E_u = E_{u2} + \frac{0,5-pc}{0,05} = 73,94 + 0,04 = 73,98$ dB				

Le Tableau VI donne un exemple de calcul du champ utilisable par la méthode log-normale simplifiée (les valeurs de E_{si} , E_{min} et σ sont les mêmes que les valeurs indiquées au Tableau V).

TABLEAU VI

Calcul de la valeur moyenne du champ résultant

i	E_{si} , dB	$U_s = \frac{(k-1) \left(\sum_i M_i^2 + M_{min}^2 \right)}{\left(\sum_i M_i + M_{min} \right)^2} + 1$	$E_{rs} = 0,1152 \sigma^2 + 10 \lg \left(\sum_i M_i + M_{min} \right) - 5 \lg U_s$
I	64	$U_s = 26,2378$	I. $E_{min} = 50$ dB $E_{rs} = 73,73$ dB
2	72		
3	60		
4	50	$U_s = 25,2356$	2. $E_{min} = 57$ dB $E_{rs} = 73,95$ dB
5	45		

En comparant les Tableaux V et VI, on constate que la méthode log-normale simplifiée, qui fait appel à une procédure non-itérative donne des valeurs de champ utilisable identiques à celles que l'on obtient avec la méthode log-normale.

BIBLIOGRAPHIE

Documents du CCIR

[1986-90]: 10/61 (URSS).

[1986-90]: 10/258 (URSS).