

RECOMMANDATION UIT-R S.1323

NIVEAUX MAXIMAUX ADMISSIBLES DE BROUILLAGE DANS UN RÉSEAU À SATELLITES (SFS OSG; SFS NON OSG; LIAISONS DE CONNEXION SMS NON OSG)* POUR UN CONDUIT NUMÉRIQUE FICTIF DE RÉFÉRENCE OCCASIONNÉS DANS LE SERVICE FIXE PAR SATELLITE PAR D'AUTRES RÉSEAUX EXPLOITÉS DANS LE MÊME SENS, AU-DESSOUS DE 30 GHz**

(Questions UIT-R 205/4, UIT-R 206/4 et UIT-R 231/4)

(1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les émissions des stations terriennes ainsi que de la station spatiale d'un réseau à satellites (SFS OSG; SFS non OSG; liaisons de connexion SMS non OSG) du SFS peuvent causer des brouillages à un autre réseau de même type lorsque l'un et l'autre réseaux exploitent les mêmes bandes;
- b) que les responsables des études techniques doivent maîtriser le fonctionnement du réseau dans son ensemble et avoir la possibilité de proposer une qualité de service répondant aux objectifs de qualité de fonctionnement recommandés par l'UIT-R et exprimés en valeur de taux d'erreur binaire (TEB) (ou de rapport (porteuse sur bruit (C/N)));
- c) que tout réseau du SFS (SFS OSG; SFS non OSG; liaisons de connexion SMS non OSG) doit être protégé des brouillages occasionnés par d'autres réseaux de même type;
- d) que pour permettre à un opérateur de maîtriser la qualité du service proposé, il est nécessaire de définir une limite applicable à la totalité des brouillages, dus aux émissions de l'ensemble des autres réseaux, qu'un réseau doit pouvoir tolérer;
- e) que pour limiter tous les brouillages occasionnés par l'ensemble des autres réseaux, il faut quantifier le brouillage qu'un réseau est supposé tolérer de tout autre réseau;
- f) qu'il est souhaitable de faire en sorte que l'augmentation des brouillages occasionnés par les autres réseaux à satellites représente un pourcentage déterminé de la somme totale de bruit qui se traduirait par la valeur pertinente du TEB, définie dans les Recommandations UIT-R relatives à la qualité de fonctionnement;
- g) que dans les bandes de fréquences supérieures à 10 GHz, où l'on peut observer pendant de brèves périodes de très importants affaiblissements de propagation, il peut être souhaitable de doter les équipements d'un système de compensation des évanouissements;
- h) que dans des configurations de brouillage faisant intervenir des systèmes non OSG, les réseaux du SFS (SFS OSG; SFS non OSG; liaisons de connexion SMS non OSG) risquent d'être exposés, pendant de brèves périodes, à des niveaux élevés de brouillage susceptibles de se répercuter sur la qualité de fonctionnement à court terme ou sur la disponibilité de ces réseaux;
- j) que les phénomènes de brouillage à court terme peuvent entraîner une perte de synchronisation ou avoir d'autres conséquences déstabilisantes pouvant se traduire par une dégradation ou une interruption du service pendant des périodes plus longues que le phénomène de brouillage proprement dit;
- k) que le niveau admissible de brouillage à court terme doit être spécifié différemment, pour l'exploitation du SFS, selon la bande de fréquences considérée, en raison des différences de caractéristiques de propagation des signaux dans les bandes en question,

* Les méthodes de détermination des critères de brouillage à court terme exposées dans la présente Recommandation s'appliquent aux brouillages occasionnés aux systèmes SFS OSG, aux systèmes SFS non OSG et aux liaisons de connexion SMS non OSG. Il conviendra toutefois de vérifier si ces méthodes sont applicables à la totalité de ces réseaux.

** Les conduits numériques fictifs de référence (CNFR) pris pour exemples dans le cas de réseaux SFS OSG et SFS non OSG sont définis dans la Recommandation UIT-R S.521. Les CNFR applicables aux autres configurations sont actuellement à l'étude.

recommande

1 de faire en sorte que les réseaux du SFS OSG exploités dans les bandes de fréquences inférieures à 30 GHz soient conçus et exploités de façon que, quel que soit le CNFR considéré, les objectifs applicables puissent être respectés lorsque la somme des puissances des signaux brouilleurs émanant des stations terriennes et des stations spatiales de l'ensemble des autres réseaux du SFS OSG exploités dans la même ou les mêmes bandes de fréquences (dans des conditions, par hypothèse, de propagation par ciel clair sur les trajets de brouillage) ne dépasse pas, à l'entrée du démodulateur, les valeurs suivantes:

1.1 25% de la puissance de bruit totale du système, dans des conditions de propagation par ciel clair, dans le cas d'un réseau sans réutilisation des fréquences;

1.2 20% de la puissance totale de bruit du système, dans des conditions de propagation par ciel clair, dans le cas d'un réseau à réutilisation des fréquences;

2 de faire en sorte que, pour un réseau du SFS OSG du type mentionné au *recommande* 1, les brouillages inter-réseaux résultant des émissions des stations terriennes et des stations spatiales de tout autre réseau SFS OSG exploité dans la même ou les mêmes bandes de fréquences soient limités à 6% de la puissance totale de bruit du système dans des conditions de propagation par ciel clair;

3 que, pour un réseau du SFS (SFS OSG; SFS non OSG; liaisons de connexion du SMS non OSG), les brouillages inter-réseaux résultant des émissions des stations terriennes et des stations spatiales de tous les autres réseaux à satellites exploités dans la même ou dans les mêmes bandes de fréquences et susceptibles de causer des brouillages à court terme:

3.1 à titre provisoire, ne soient pas à l'origine de plus de 10% de la marge temporelle applicable au TEB (ou aux rapports C/N) applicables, spécifiés comme objectifs de qualité de fonctionnement à court terme du réseau utile. Se reporter à la Méthode A (Annexe 1, § c)), pour ce qui est des données et à l'équation (6a), pour une description des implications de cette marge.)

3.2 n'entraînent pas plus d'une perte de synchronisation du réseau utile tous les x jours (l'éventuelle incorporation de cette condition dans les méthodes décrites dans l'Annexe 1 appelle un complément d'étude);

4 que pour un réseau du SFS OSG, la marge de brouillage à long terme associée à tout système brouilleur OSG soit provisoirement limitée à 6% du bruit total de la liaison (la spécification d'une marge à long terme dans le cas d'un réseau utile non OSG appelle un complément d'étude);

5 que pour un réseau du type mentionné au *recommande* 3, les brouillages inter-réseaux résultant des émissions des stations terriennes et des stations spatiales de tout réseau à satellite exploité dans la même bande de fréquences et susceptible de causer des brouillages à court terme soient déterminés selon les méthodes décrites dans l'Annexe 1;

6 que le niveau maximal de puissance de bruit brouilleuse occasionné à un réseau du SFS OSG soit calculé sur la base des valeurs suivantes pour le gain d'antenne de station terrienne réceptrice, l'axe considéré formant un angle φ (degrés) par rapport à l'axe du faisceau principal:

Brouillages OSG – OSG:

$$G = 32 - 25 \log \varphi \quad \text{dBi} \quad \text{pour} \quad 1^\circ \leq \varphi < 48^\circ$$

$$G = -10 \quad \text{dBi} \quad \text{pour} \quad 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$$

Brouillages non OSG – OSG:

$$G(\varphi) = \begin{cases} G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} (D \varphi / \lambda)^2 & \text{dBi} \quad \text{pour} \quad 0^\circ \leq \varphi < \varphi_m \\ G_1 & \text{dBi} \quad \text{pour} \quad \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r \\ 29 - 25 \log \varphi & \text{dBi} \quad \text{pour} \quad \varphi_r \leq \varphi < 36,3^\circ \\ -10 & \text{dBi} \quad \text{pour} \quad 36,3^\circ \leq \varphi < 180^\circ \end{cases}$$

avec:

$$G_1 = -1 + 15 \log (D/\lambda)$$

$$\varphi_m = (20 \lambda / D) \sqrt{G_{max} - G_1}$$

$$\varphi_r = 15,85 (D/\lambda)^{-0,6}$$

(les diagrammes d'antenne applicables aux satellites OSG et aux systèmes non OSG appellent un complément d'étude);

7 de considérer les Notes suivantes comme parties intégrantes de la présente Recommandation.

NOTE 1 – Dans le calcul des limites dont il est question aux *recommande* 1.1, 1.2, 2, 3 et 4, on supposera que la totalité de la puissance de bruit du système à l'entrée du démodulateur est d'origine thermique et comprend l'ensemble des bruits induits ainsi que les contributions des autres systèmes.

Lorsque l'on ne peut pas supposer que le brouillage est un brouillage thermique, le niveau admissible de brouillage occasionné à une porteuse numérique sera établi à partir de la dégradation des objectifs de qualité de fonctionnement exprimés en TEB (ou en rapports C/N).

NOTE 2 – Pour le calcul du brouillage, conformément aux *recommande* 1, 2, 3 et 4 et dans le cas de réseaux à satellites exploités dans des conditions d'évanouissement, on supposera que le niveau de puissance de la porteuse du système qui subit le brouillage est réduit jusqu'à ce que la qualité de fonctionnement du système coïncide avec les critères définis plus haut en termes de TEB (ou de rapport C/N) à long terme et de pourcentage mensuel (voir l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R S.735 pour des éclaircissements).

NOTE 3 – En ce qui concerne les *recommande* 1 et 2, on supposera que le brouillage provenant des autres réseaux à satellites est continu aux fréquences inférieures à 10 GHz: il sera nécessaire de procéder à un complément d'étude pour ce qui est des configurations dans lesquelles le brouillage n'est pas de nature continue au-dessus de 10 GHz.

NOTE 4 – Lorsque le brouillage est caractérisé par une distribution spectrale non uniforme, on pourra être amené, dans les études techniques, à prévoir dans le cas de porteuses à largeur de bande réduite, dans le total du bruit du système, une marge de brouillage plus importante. Un modèle mis au point pour de tels cas est défini en détail dans l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R S.735.

NOTE 5 – Dans le cas de réseaux assurant un service téléphonique à codage MIC sur 8 bits, on se reportera à la Recommandation UIT-R S.523.

NOTE 6 – Dans certains cas, il pourra être nécessaire de limiter la valeur de brouillage unique à un niveau inférieur à la valeur indiquée au *recommande* 2 afin que la valeur totale recommandée au *recommande* 1 ne soit pas dépassée. Dans d'autres cas, notamment sur les arcs encombrés de l'OSG, des administrations pourront, par accord bilatéral, convenir d'utiliser d'autres valeurs de brouillage de signal unique, plus élevées que les valeurs indiquées au *recommande* 2, mais toute puissance de bruit brouilleuse dépassant la valeur recommandée au *recommande* 2 ne sera pas prise en considération lorsque l'on cherchera à savoir, par le calcul, si la valeur totale recommandée au *recommande* 1 est dépassée.

NOTE 7 – Il sera nécessaire de déterminer les possibilités d'accepter un relèvement des valeurs maximales totales de bruit brouilleur recommandées aux *recommande* 1, 3 et 4.

NOTE 8 – Pour ce qui est des fréquences supérieures à 10 GHz, on ne dispose pas de données de propagation à court terme uniformes pour l'ensemble du monde, et il demeure nécessaire d'examiner les données disponibles pour confirmer la marge de brouillage susceptible de permettre de respecter les objectifs de qualité de fonctionnement.

NOTE 9 – Il est nécessaire de poursuivre l'étude des marges applicables aux signaux de bruit brouilleurs dans le cas de systèmes exploités à des fréquences supérieures à 15 GHz. Il faut de toute urgence étudier l'effet, sur ces marges, des systèmes de commande de puissance utilisés pour compenser les évanouissements au-dessus de 15 GHz.

NOTE 10 – Pour des raisons d'efficacité d'utilisation de l'orbite, les réseaux à satellites exploités dans des conditions de fortes précipitations devraient être dotés d'un système de compensation des évanouissements.

NOTE 11 – La présente Recommandation ne traite que des configurations de partage dans la même direction, mais les principes qui sous-tendent les méthodes décrites dans l'Annexe 1 s'appliquent également aux conditions de partage en bandes inverses.

NOTE 12 – Les objectifs de qualité de fonctionnement à court terme sont exprimés en valeurs de TEB (ou de rapport C/N) pour des pourcentages de temps cumulatifs inférieurs ou égaux à 1%.

NOTE 13 – Une perte de synchronisation consécutive à un brouillage à court terme peut se traduire par une interruption du service plus longue que le phénomène de brouillage lui-même. Cette interruption est particulièrement sérieuse dans le cas de systèmes à accès multiple (AMRT, AMRC). L'apparition fréquente de phénomènes de brouillage intenses mais de courte durée pouvant se traduire par des pertes de synchronisation peut sérieusement limiter la qualité de service offerte par un réseau à satellite même si les critères de pourcentage cumulatif de temps sont respectés. En pareils cas, il conviendrait d'évaluer les effets des brouillages en termes de temps cumulatif d'indisponibilité ainsi que d'intervalle de temps moyen entre phénomènes de brouillage intenses. Cette question appelle un complément d'étude.

ANNEXE 1

Méthodes de calcul des marges à prévoir, dans un réseau du SFS (SFS OSG, SFS non OSG; liaisons de connexion SMS non OSG) pour tenir compte des brouillages à court terme que pourrait occasionner un autre réseau à satellite

La présente Annexe décrit 3 méthodes, dénommées respectivement A, B et C, de calcul des marges de brouillage.

Dans la Méthode A, on considère les effets simultanés dus aux évanouissements et aux brouillages. Le calcul des marges de brouillage tient compte du fait que, pendant un certain pourcentage du temps, les objectifs de qualité de fonctionnement ne sont pas respectés en raison de l'effet combiné de ces deux facteurs de dégradation qui, séparément, n'entraîneraient pas ce non-respect des objectifs. Toutefois, la modélisation des évanouissements est parfois difficile, tout particulièrement dans le cas des liaisons aller ou retour établies avec des satellites non OSG, puisque les angles d'élévation et d'azimut varient alors avec le temps.

Dans le cas de systèmes exploités dans des conditions de ciel clair, avec des marges relativement modestes, et lorsqu'on fait intervenir essentiellement, pour résoudre le problème posé par les évanouissements, un système de commande de puissance, les effets simultanés des évanouissements et des brouillages sont moins importants et peuvent être négligés lorsque l'opérateur du système affecté le souhaite. Les Méthodes B et C traitent précisément de cette possibilité (ces méthodes traitent séparément les effets des brouillages).

La Méthode B est d'ailleurs une simplification de la Méthode A: le brouillage est toujours considéré séparément, mais en plus on ramène les objectifs de qualité de fonctionnement à une simple valeur seuil de TEB (ou de rapport C/N) en précisant le pourcentage de temps pendant lequel cette valeur peut être dépassée.

La Méthode C est également une simplification de la Méthode A en ce sens que le brouillage y est considéré séparément des effets des évanouissements, mais elle est plus perfectionnée que la seconde nommée puisqu'elle tient directement compte des compromis entre les marges de liaisons montantes et les marges de liaisons descendantes. La question de savoir si cette méthode est applicable aux systèmes dont il est question dans la présente Recommandation n'a pas encore été tranchée, et les possibilités d'application de la méthode appellent donc un complément d'étude.

Les Méthodes A et B présentent une autre différence au niveau du traitement du problème posé par des sources de brouillage multiples. Dans la Méthode A, on rend compte de l'effet d'ensemble de ces sources multiples en combinant les fonctions de densité de probabilité qui leur sont associées, tandis que, selon la Méthode B, on attribue une fraction de la marge de brouillage ($1/N$) à chacune des N sources, qui est alors traitée séparément. La Méthode C décrite dans la présente Annexe ne traite que du brouillage cumulatif.

Un complément d'étude permettra de déterminer la nature des brouillages à court terme et des brouillages à long terme subis par un réseau non OSG et causés par plusieurs réseaux OSG.

PARTIE 1

Méthode A**1 Hypothèses de départ**

Les hypothèses de départ suivantes décrivent une procédure de calcul des marges de brouillage associées à une porteuse utile donnée; la méthode repose sur les hypothèses de départ suivantes:

Hypothèse 1: Dans l'analyse, on considère deux facteurs de dégradation qui varient dans le temps; il s'agit, d'une part, des évanouissements sur la liaison et, d'autre part, de toute autre variation temporelle des caractéristiques de cette liaison et des signaux brouilleurs émanant d'autres réseaux du SFS.

Hypothèse 2: En raison des phénomènes d'évanouissement et d'autres variations temporelles des caractéristiques de la liaison, on peut représenter la réduction de puissance de la porteuse et l'augmentation de bruit en remplaçant C par le rapport C/X , et la dégradation correspondante x (dB) s'écrit alors:

$$x = 10 \log X \quad (1)$$

On peut maintenant représenter l'effet du brouillage en relevant la puissance de bruit de N_T à $Y N_T$; la dégradation y correspondante (dB) s'écrit alors:

$$y = 10 \log Y \quad (2)$$

En conséquence, la dégradation totale du rapport C/N , z (dB) est donnée par:

$$z = x + y \quad (3)$$

On suppose que les variables aléatoires x et y sont statistiquement indépendantes et qu'en conséquence la fonction de densité de probabilité de z est la combinaison des fonctions de densité de probabilité de x et de y . L'indépendance de ces deux variables aléatoires est une approximation puisque la présence d'évanouissements peut rehausser le niveau de bruit tout en entraînant par ailleurs une réduction de I (évanouissement sur le trajet de brouillage). En tout état de cause, cette indépendance est une hypothèse prudente puisqu'elle surestime l'effet du brouillage.

De plus, il découle de la définition de y que:

$$Y = 1 + (I/N_T) \quad (4)$$

dans laquelle I représente la puissance du signal brouilleur. Il convient de noter que le bruit total sur la liaison, N_T , comprend les brouillages à long terme associés aux réseaux brouilleurs considérés. En conséquence, I est véritablement la composante variable dans le temps du brouillage qui, ajoutée à la marge à long terme, donne la puissance brouilleuse totale.

Hypothèse 3: Si l'on suppose que N réseaux peuvent occasionner des brouillages à court terme, la puissance de brouillage totale I normée par le bruit total N_T s'écrit:

$$I/N_T = v_1 + \dots + v_N \quad (5)$$

dans laquelle v_n ($n = 1, \dots, N$) est la puissance du signal brouilleur émanant du n^{e} réseau, normalisée par le bruit total N_T . On suppose que les variables aléatoires v_n ($n = 1, \dots, N$) sont statistiquement indépendantes, de sorte que la fonction de densité de probabilité de I/N_T est la combinaison des fonctions de densité de probabilité des variables aléatoires v_n ($n = 1, \dots, N$).

2 Données

Pour déterminer les marges de brouillage correspondant à une porteuse utile donnée, il faut disposer des paramètres suivants:

- a) Les caractéristiques de qualité de fonctionnement associées à la porteuse utile, exprimées en valeurs de TEB complétées par les pourcentages de temps pertinents. En général, il s'agit d'un ensemble de valeurs TEB_j ($j = 1, \dots, J$) associées à des pourcentages de l'année p_j ($j = 1, \dots, J$) pendant lesquels le TEB peut être moins bon que la valeur TEB_j .
- b) Le rapport porteuse/bruit dans des conditions de propagation par ciel clair $(C/N)_{CS}$, ainsi que les valeurs du rapport porteuse/bruit $(C/N)_j$ ($j = 1, \dots, J$) correspondant aux valeurs de TEB_j (définies au § 1.2.1). En outre, lorsque l'on a recours à un système de commande de puissance, il faut disposer d'informations sur les procédures correspondantes. Les valeurs de C/N peuvent être données directement, sans être associées à des valeurs de TEB, auquel cas seules les valeurs p_j ($j = 1, \dots, J$) définies au point a) sont requises.
- c) La fonction de densité de probabilité $p_x(X)$ de la variable aléatoire x qui exprime, en dB, la dégradation de la qualité de fonctionnement due aux phénomènes d'évanouissement et à toute autre variation temporelle des caractéristiques de la liaison. Cette fonction de densité de probabilité (fortement dépendante de la présence d'une commande de puissance et de ses caractéristiques) doit être compatible avec le *recommande* 3.1, de sorte que la dégradation x ne peut pas absorber plus de 90% des marges de temps associées à chaque valeur de TEB (ou de C/N) (voir l'équation (6a), qui exprime cette condition).

d) Le nombre N de réseaux brouilleurs pouvant être à l'origine de brouillages à court terme et partageant la même bande de fréquences avec le réseau utile. Pour un réseau utile SFS OSG, N est égal au nombre de systèmes non OSG qui partagent la même bande de fréquences. Pour un réseau utile non OSG, N est égal au nombre des autres réseaux non OSG additionné du nombre de positions géostationnaires, espacés de 2° , pouvant être à l'origine de brouillages et visibles, au-dessus de l'angle d'élévation minimal, par la station terrienne du réseau non OSG.

3 Procédure proposée

Sur la base des hypothèses et des données requises, les étapes suivantes définissent une procédure de calcul des marges de brouillage pour une porteuse utile donnée.

Etape 1: A partir des données a) et b), on peut déterminer les valeurs z_j de la dégradation totale z pouvant être dépassées au plus pendant $p_i\%$ de l'année à partir de l'équation suivante:

$$z_j = (C/N)_{CS} - (C/N)_j \quad \text{pour } j = 1, \dots, J \quad (6)$$

En conséquence, les conditions relatives à $p_x(X)$ selon le § c) peuvent être représentées par l'inégalité suivante:

$$P(x \geq z_j) \leq (0,9 p_j) / 100 \quad (6a)$$

Etape 2: On choisit pour la fonction de densité de probabilité $p_v(V)$ une représentation graphique de la puissance brouilleuse émanant d'un réseau brouilleur quelconque, normalisée sur la puissance de bruit total N_T . Dans le cas d'un répéteur transparent, la valeur calculée tient compte, sur la liaison montante comme sur la liaison descendante, des brouillages occasionnés par la totalité des stations terriennes et des stations spatiales du réseau brouilleur. Dans le cas d'un traitement à bord du satellite, il est nécessaire de calculer des densités de probabilité distinctes pour les dégradations sur la composante montante et sur la composante descendante. Le compromis recherché, en l'occurrence, consiste d'une part à obtenir une représentation suffisamment détaillée de $p_v(V)$, et d'autre part à conserver des calculs suffisamment simples. La représentation dépendra d'un certain nombre K de paramètres α_k ($k = 1, \dots, K$):

$$p_v(V) = f(V, \alpha_1, \dots, \alpha_K) \quad (7)$$

Etape 3: Compte tenu de l'hypothèse 3 de départ et du nombre N de réseaux brouilleurs pouvant être à l'origine de brouillages à court terme (se reporter au § d)), la fonction de densité de probabilité de la puissance brouilleuse totale I normée par le bruit total N_T peut s'écrire:

$$p_{I/N_T}(U) = p_{v_1} * \dots * p_{v_N}(U) \quad (8)$$

où le signe * dénote une combinaison. Compte tenu de l'équation (7), l'équation (8) peut s'écrire:

$$p_{I/N_T}(U) = f(U, \alpha_1, \dots, \alpha_K) * \dots * f(U, \alpha_1, \dots, \alpha_K) \quad N \text{ fois} \quad (9)$$

ou encore:

$$p_{I/N_T}(U) = g(U, \alpha_1, \dots, \alpha_K) \quad (10)$$

NOTE 1 – Dans l'équation (9), on suppose implicitement que des marges de brouillage égales sont associées à chaque signal brouilleur de la somme N . Lorsque tel n'est pas le cas, il faut modifier l'équation (9) en conséquence.

Etape 4: Il découle de l'hypothèse 2 que:

$$y = 10 \log [1 + (I/N_T)] = 10 \log (1 + u) \quad (11)$$

et donc que:

$$p_y(Y) = [p_u(U) / |dy/du|]_{U=s(Y)} \quad (12)$$

avec:

$$U = s(Y) = 10^{Y/10} - 1 \quad (13)$$

Etant donné que:

$$dy/du = 10 / [(1 + u) \ln 10]$$

On a:

$$p_y(Y) = p_u(10^{Y/10} - 1) \times 10^{[(Y/10) - 1]} \ln 10 \quad (14)$$

Etape 5: On établit une représentation graphique de la dégradation totale z à partir de l'expression:

$$p_z(Z) = p_x * p_y(Z) \quad (15)$$

dans laquelle l'expression $p_x(X)$ est reprise des données du § c) et $p_y(Y)$ découle de l'équation (14). Comme $p_y(Y)$ dépend des paramètres $\alpha_1, \dots, \alpha_K$, puisque selon l'équation (10) $p_u(U)$ dépend de ces mêmes paramètres, il en est de même de $p_z(Z)$. La fonction peut donc s'écrire comme suit:

$$p_z(Z) = h(Z, \alpha_1, \dots, \alpha_K) \quad (16)$$

Etape 6: A partir de l'équation (16), on peut calculer la probabilité de dépassement de chacune des valeurs z_j obtenues dans l'étape 1 par la dégradation totale z . Chacune de ces probabilités est fonction des paramètres $\alpha_1, \dots, \alpha_K$, et peut s'écrire:

$$P(z \geq z_j) = r_j(\alpha_1, \dots, \alpha_K) \quad \text{pour } j = 1, \dots, J \quad (17)$$

Enfin, les paramètres $\alpha_1, \dots, \alpha_K$, s'obtiennent à partir des conditions suivantes:

$$r_j(\alpha_1, \dots, \alpha_K) \leq p_j / 100 \quad \text{pour } j = 1, \dots, J \quad (18)$$

dans lesquelles les valeurs de p_i sont les valeurs du § a) des données associées aux dégradations z_i calculées dans l'étape 1.

Etape 7: A partir des paramètres $\alpha_1, \dots, \alpha_K$, calculés dans l'étape 5, on définit la fonction de densité de probabilité de v , puissance du signal brouilleur normée sur le bruit total N_T produit par un réseau brouilleur, exprimé dans l'équation (4) sous la forme $f(V, \alpha_1, \dots, \alpha_K)$. Cette fonction de densité de probabilité permet de définir un gabarit du brouillage I produit par un seul réseau brouilleur, exprimé sous forme de fraction du bruit total sur la liaison N_T . Par exemple, si:

$$P(v \geq V_m) \leq q_m \quad (19)$$

on a:

$$P[I \geq V_m N_T] \leq q_m \quad (20)$$

A partir de l'expression $f(V, \alpha_1, \dots, \alpha_K)$ on peut calculer un certain nombre M de couples $(V_M N_T; q_m)$ et donc définir un gabarit pour les marges de brouillage dans le cas d'un seul réseau brouilleur.

4 Exemple 1 de la Méthode A

Le calcul des marges de brouillage des porteuses Ka-3 et Ka-4 (voir le Tableau 9 de la Recommandation UIT-R S.1328), illustrera l'application de la Méthode A.

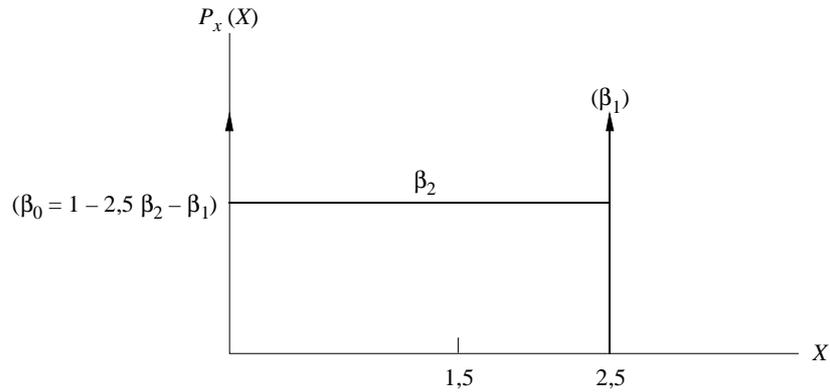
4.1 Données

Les données requises pour ces deux porteuses sont les suivantes:

- a) le TEB de 1×10^{-10} ne peut pas être dépassé pendant plus de 1% du temps
le TEB de 1×10^{-8} ne peut pas être dépassé pendant plus de 0,5% du temps
- b) *Porteuse Ka-3*
 $C/N = 6,8$ dB pour un TEB de 1×10^{-10} ; $C/N = 5,8$ dB pour un TEB de 1×10^{-8}
 $(C/N)_{CS} = 8,3$ dB
Porteuse Ka-4
 $C/N = 5,8$ dB pour un TEB de 1×10^{-10} ; $C/N = 4,8$ dB pour un TEB de 1×10^{-8}
 $(C/N)_{CS} = 7,3$ dB
- c) On propose d'utiliser la représentation graphique de la Fig. 1 pour caractériser la dégradation due aux évanouissements.

FIGURE 1

Représentation graphique de la dégradation due aux évanouissements

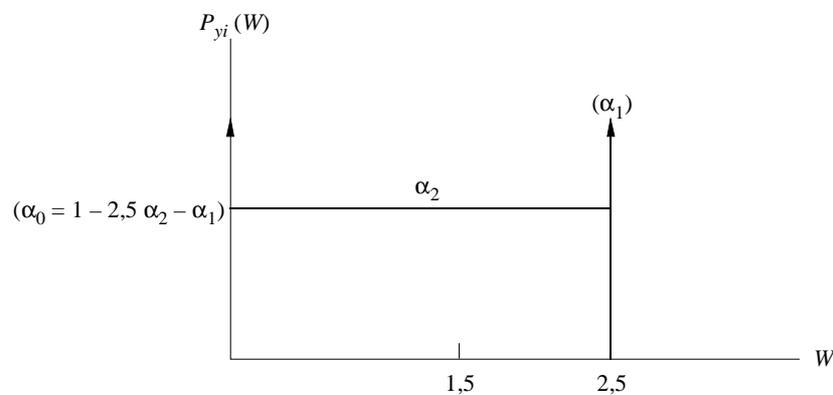


1323-01

Comme exemple de calcul, prenons $\beta_1 = 0,0045$, $\beta_2 = 0,0022$ et $\beta_0 = 0,99$. Ces valeurs seraient représentatives d'une liaison montante avec une plage de commande de puissance de 7 dB, exploitée dans la zone hydrométéorologique E (quel que soit l'angle d'élévation, pour ainsi dire) ou dans la zone K (avec un angle d'élévation d'au moins 30°). Elles seraient également représentatives d'une liaison descendante exploitée selon les mêmes angles d'élévation et dans les mêmes zones hydrométéorologiques que précédemment, avec une hypothèse additionnelle: un évanouissement de 7 dB sur la liaison descendante entraîne une dégradation du rapport C/N de 2,5 dB (sans commande de puissance). Notons que pour les valeurs considérées de β_1 , β_2 et β_0 , la condition de l'équation (6a) est respectée au sens strict pour $i = 1$ et avec une marge pour $i = 2$.

- d) Appelons y_i la dégradation due aux brouillages émanant du i^{e} réseau (dB). Dans cet exemple, on suppose que la fonction de densité de probabilité de y_i est représentée comme suit:

FIGURE 2

Représentation graphique de la dégradation due au i^{e} signal brouilleur

1323-02

4.2 Procédure de calcul

Nous appliquons la Méthode A:

Etape 1: La dégradation de 2,5 dB peut être dépassée au maximum pendant 0,5% du temps.

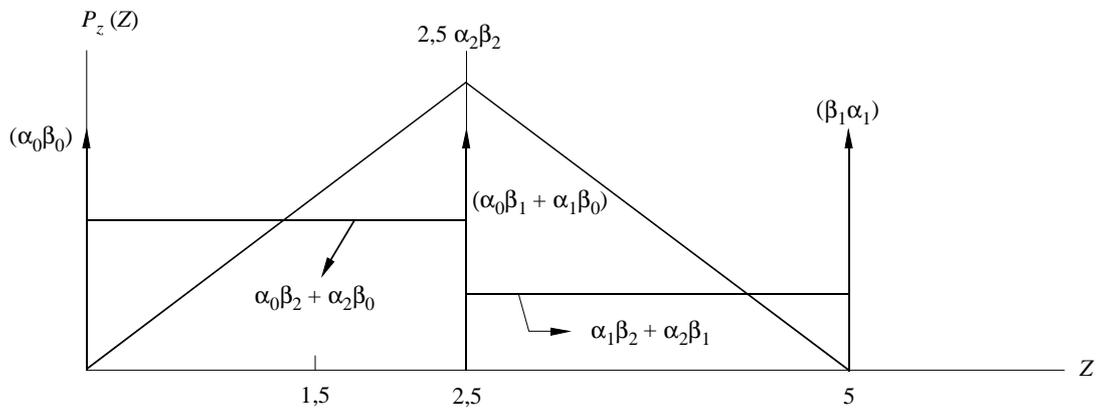
La dégradation de 1,5 dB peut être dépassée au maximum pendant 1% du temps.

Cas 1: Un réseau brouilleur ($N = 1$)

Etapes 2, 3 et 4: Lorsque $N = 1$, $y = y_i$ et la densité de probabilité $P_y(W)$ peut être représentée graphiquement directement: il n'est donc pas nécessaire de passer par les fonctions de densité de probabilité intermédiaires $p_{y_i}(V)$ ($i = 1, \dots, N$). Dans ce cas, la représentation graphique proposée pour la totalité de la dégradation due au brouillage est également celle de la Fig. 2.

Etape 5: La fonction $p_z(Z)$ résultante est représentée à la Fig. 3:

FIGURE 3
Fonction de densité de probabilité de la dégradation totale



1323-03

Etape 6: Les inégalités à vérifier en application de l'équation (18) sont les suivantes:

$$P(z \geq 2,5) \leq 0,005 \tag{21}$$

$$P(z \geq 1,5) \leq 0,01 \tag{22}$$

Lorsque l'inégalité (21) est vérifiée, les expressions (21) et (22) donnent:

$$P(1,5 \leq z \leq 2,5) \leq 0,005 \tag{23}$$

La technique de calcul exposée dans l'Appendice 1 de l'Annexe 1 a été utilisée pour déterminer les valeurs de α_1 et α_2 permettant de répondre aux conditions (21) et (23), soit $\alpha_1 = 0,0004827$ et $\alpha_2 = 0,0028325$.

Etape 7: Avec les valeurs de α_1 et α_2 obtenues précédemment et la fonction de densité de probabilité de la Fig. 2, le gabarit de marge de brouillage devient:

$$P(I \geq 0) \leq 0,76\% \tag{24}$$

$$P(I \geq 0,41 N_T) \leq 0,33\% \tag{25}$$

$$P(I \geq 0,78 N_T) \leq 0,0483\% \tag{26}$$

de sorte que, compte tenu de la marge de 6% déjà incluse dans le bruit de la liaison pour tenir compte du brouillage à long terme, le brouillage total I' (y compris la composante à long terme) doit être tel que:

$$P(I' \geq 0,06 N_T) \leq 0,76\% \quad (27)$$

$$P(I' \geq 0,47 N_T) \leq 0,33\% \quad (28)$$

$$P(I' \geq 0,84 N_T) \leq 0,0483\% \quad (29)$$

Cas 2 : Deux réseaux brouilleurs ($N = 2$)

Etapes 2, 3, 4 et 5: On détermine ici la valeur de $P(z \geq z_j)$, $j = 1, \dots, J$ (expression (17)) pour les valeurs obtenues de α_1 et α_2 .

Etape 6: Les inégalités à vérifier conformément à l'équation (18) sont les mêmes que dans le *Cas 1*; il s'agit des expressions (21) et (23). La technique de calcul exposée dans l'Appendice 1 de l'Annexe 1 a de nouveau été utilisée pour déterminer les valeurs de α_1 et α_2 vérifiant ces inégalités, soit $\alpha_1 = 0,0002388$ et $\alpha_2 = 0,00142239$.

Etape 7: Avec les valeurs de α_1 et α_2 ainsi obtenues et la fonction de densité de probabilité de la Fig. 2, le gabarit de marge de brouillage s'écrit:

$$P(I \geq 0) \leq 0,38\% \quad (30)$$

$$P(I \geq 0,41 N_T) \leq 0,17\% \quad (31)$$

$$P(I \geq 0,78 N_T) \leq 0,0238\% \quad (32)$$

de sorte que, compte tenu de la marge de 6% déjà incluse dans le bruit de la liaison pour tenir compte des brouillages à long terme, le brouillage total I' (y compris la composante à long terme) doit être tel que:

$$P(I' \geq 0,06 N_T) \leq 0,38\% \quad (33)$$

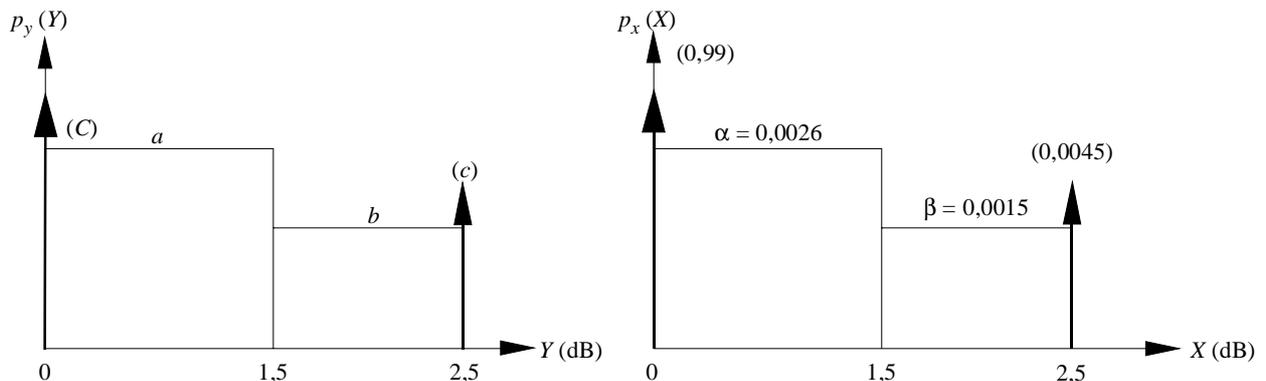
$$P(I' \geq 0,47 N_T) \leq 0,17\% \quad (34)$$

$$P(I' \geq 0,84 N_T) \leq 0,0238\% \quad (35)$$

5 Exemple 2 de la Méthode A

Dans cet exemple, les caractéristiques de qualité de fonctionnement requises sont les mêmes que dans l'exemple 1 de la Méthode A, mais les calculs ont été faits avec des fonctions de densité de probabilité moins simples que dans ce dernier exemple, pour évaluer l'effet des valeurs des critères de brouillage. Les fonctions de densité de probabilité sont représentées sur la Fig. 4.

FIGURE 4



Plusieurs résultats possibles ont été obtenus avec les contraintes suivantes:

$$P(z \geq 2,5 \text{ dB}) \leq 0,5\%$$

$$P(z \geq 2,5 \text{ dB}) - P(x \geq 2,5 \text{ dB}) \leq 0,05\%$$

$$P(z \geq 1,5 \text{ dB}) \leq 1,0\%$$

$c =$	0,00050	0,000484	0,0004	0,0002	0
$b =$	0,00038	0,0032	0,0036	0,0038	0,001
$a =$	0,00038	0,0032	0,0040	0,0040	0,006
$C =$	0,99850	0,9910	0,99	0,9900	0,990
$P(z \geq 2,5 \text{ dB})$	0,5%	0,50%	0,49%	0,47%	0,45%
$P(z \geq 1,5 \text{ dB})$	0,69%	0,97%	1,00%	1,00%	1,00%
$P(y \geq 2,5 \text{ dB})$	0,05%	0,0483%	0,04%	0,02%	0,00%
$P(y \geq 1,5 \text{ dB})$	0,088%	0,37%	0,40%	0,40%	0,40%

Les marges de brouillage totales pourraient alors se chiffrer aux valeurs suivantes:

$P(I \leq 0,06 N_T) \geq$	99,85%	ou	99,10%	ou	99,00%
$P(I \geq 0,47 N_T) \leq$	0,088%		0,37%		0,4%
$P(I \geq 0,84 N_T) \leq$	0,05%		0,0483%		0,04%

Ainsi les résultats obtenus avec cette modélisation plus précise des fonctions de densité de probabilité ne diffèrent guère des valeurs constatées avec l'exemple 1 de la Méthode A.

6 Exemple 3 de la Méthode A

Dans cet exemple, on calcule les marges de brouillage dans le cas d'un partage de fréquences entre *liaisons montantes SFS OSG* et d'autres réseaux du SFS.

6.1 Données

a) et b) Caractéristiques de qualité de fonctionnement et valeurs associées du rapport porteuse/bruit de la porteuse utile.

TEB	E_b/N_0 (dB)	Pourcentage de l'année (%)
1×10^{-6}	6,5	0,04
1×10^{-8}	7,6	0,6
1×10^{-9}	8,7	4,0
$(E_b/N_0 + I_0 \text{ long terme}), \text{ ciel clair}$	18,5	
Marge de brouillage à long terme		Pourcentage de l'année (%)
$I/N < 6\%$		Long terme

Le réseau SFS OSG considéré dans cet exemple est doté d'une commande de puissance et fait intervenir une diversité de site. La commande de puissance sur la liaison montante n'est active que lorsque la profondeur de l'évanouissement est supérieure à 12 dB. Un gain de 5 dB permet de maintenir la liaison disponible lorsque l'évanouissement est compris entre 12 et 17 dB. En ce qui concerne la diversité de site, on suppose que les deux stations terriennes sont distantes de 20 km l'une de l'autre et qu'elles voient le satellite OSG selon un angle d'élévation de 10°.

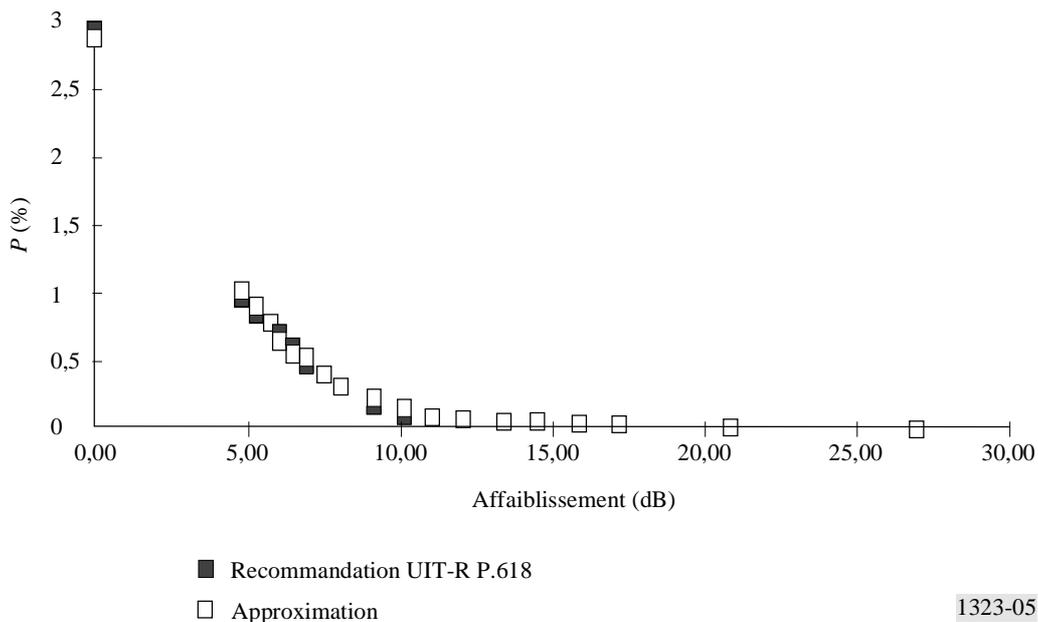
c) Fonction de densité de probabilité de la dégradation de la qualité de fonctionnement en raison d'évanouissements:
 $p_x(X)$

La Recommandation UIT-R P.618 expose une méthode de calcul des statistiques des évanouissements dus à la pluie. Si l'on suppose que les stations terriennes sont situées dans la zone climatique E, on peut obtenir une bonne approximation des statistiques des affaiblissements dus à la pluie pour un angle d'élévation de 10° et avec diversité de site en définissant une fonction comportant cinq valeurs de pente:

- de 0 à 6 dB: pente: 0,382;
- de 6 à 8 dB: pente: 0,189;
- de 8 à 11 dB: pente: 0,076;
- de 11 à 17 dB: pente: 0,0102;
- de 17 à 27 dB: pente: 0,00234.

La Fig. 5 fait apparaître l'adaptation de la fonction linéaire à la fonction de départ.

FIGURE 5



1323-05

Avec cette approximation linéaire, la fonction de densité de probabilité $p_x(X)$ se présente selon la Fig. 6.

Nous avons interrompu la représentation graphique à la valeur de 12 dB, qui correspond à la marge du système. Nous calculons maintenant:

$$P(x > 12 \text{ dB}) = P(\text{évanouissement} > 17 \text{ dB}) = 0,033\%$$

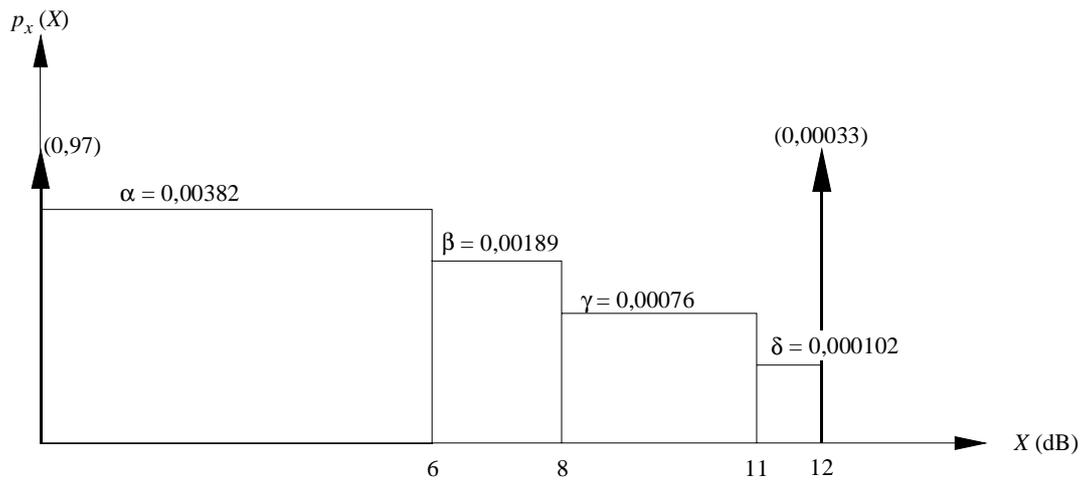
d) Nombre de réseaux brouilleurs non OSG: $N = 1$.

6.2 Procédure de calcul

Etape 1: Il s'agit de calculer les valeurs z_i constitutives de la dégradation totale z qui peut être dépassée au plus pendant $p_i\%$ du temps.

$$z_i = (C/N)_{ciel \text{ clair}} - (C/N)_i = (E_b/N_0)_{ciel \text{ clair}} - (E_b/N_0)_i$$

FIGURE 6



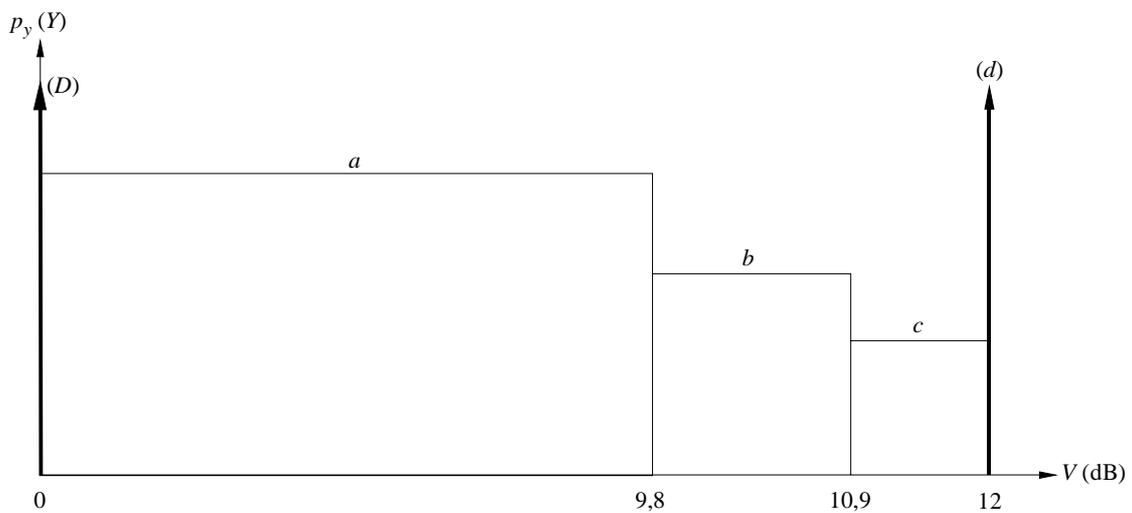
1323-06

$z_i = (C/N)_{ciel\ clair} - (C/N)_i$ (dB)	Pourcentage de l'année (%)
12	0,04
10,9	0,6
9,8	4,0

Etapes 2 et 3: Fonction de densité de probabilité du brouillage $p_y(Y)$

La représentation graphique suivante a été choisie pour la fonction de densité de probabilité $p_y(Y)$ correspondant à la dégradation v occasionnée par les brouillages émanant d'un réseau brouilleur quelconque.

FIGURE 7



1323-07

La représentation graphique ne saurait rendre compte fidèlement des statistiques des éventuels brouillages réels. Au reste, il est impossible de connaître la fonction de probabilité de dégradation due à des brouillages sans connaître les caractéristiques des constellations brouilleuses. Mais, lorsque de telles constellations sont connues, les statistiques de brouillage peuvent être obtenues par simulation informatique ou par des méthodes analytiques comparables à la méthode décrite dans la Recommandation UIT-R S.1257; toutefois, les valeurs ainsi établies dépendront toujours de la latitude et de l'azimut de la station terrienne utile. Ainsi, comme nous cherchons à calculer le pourcentage de l'année pendant lequel chaque valeur z_i de la dégradation totale z peut être dépassée, nous devons choisir ces valeurs z_i qui sont les paliers de la fonction considérée.

Etape 4: Fonction de densité de probabilité de la dégradation totale $p_z(Z)$

$$p_z(Z) = p_x * p_y(Z)$$

Etape 5: Calcul des paramètres a , b , c , d et D

Pour calculer les paramètres a , b , c , d et D , on décide que la dégradation totale z et la dégradation due au brouillage y répondent aux conditions suivantes:

$$P(z \geq 12 \text{ dB}) \leq 0,04\% \quad P(y \geq 12 \text{ dB}) \leq 0,004\% \text{ (Note 1)}$$

$$P(z \geq 10,9 \text{ dB}) \leq 0,6\%$$

$$P(z \geq 9,8 \text{ dB}) \leq 4\%$$

et:

$$1 = D + 9,8 a + 1,1 b + 1,1 c + d$$

NOTE 1 – Cette contrainte donne des critères de brouillage un peu moins rigoureux que l'inégalité $P(z \geq 12 \text{ dB}) - P(x \geq 12 \text{ dB}) \leq 0,004\%$, mais notre exemple étant une simple comparaison de résultats obtenus avec deux modélisations différentes des statistiques des évanouissements dus à la pluie, cette question n'a ici aucune importance.

On a utilisé un tableur Excel pour calculer les combinaisons de fonctions rectangulaires et de probabilités de dépassement, par z , des valeurs 12, 10,9 et 9,8 dB.

Ensuite, l'application d'un solveur (avec les conditions « $P(z \geq 12 \text{ dB}) = 0,04\%$ », « $a \geq b \geq c$ » et « maximiser $P(y \geq 10,9 \text{ dB})$ ») a donné plusieurs ensembles de solutions:

$d =$	0,00004	0,00003	0,00002	0,00001	0
$c =$	0,00025	0,00034	0,00042	0,00051	0,00059
$b =$	0,00025	0,00034	0,00042	0,00051	0,00059
$a =$	0,00025	0,00034	0,00042	0,00051	0,00059
$D =$	0,9969	0,9959	0,9949	0,9939	0,9929
$P(z \geq 12 \text{ dB})$	0,04%	0,04%	0,04%	0,04%	0,04%
$P(z \geq 10,9 \text{ dB})$	0,09%	0,10%	0,11%	0,12%	0,125%
$P(z \geq 9,8 \text{ dB})$	0,20%	0,21%	0,23%	0,26%	0,27%
$P(y \geq 12 \text{ dB})$	0,004%	0,003%	0,002%	0,001%	0,000%
$P(y \geq 10,9 \text{ dB})$	0,03%	0,04%	0,05%	0,06%	0,065%
$P(y \geq 9,8 \text{ dB})$	0,06%	0,08%	0,10%	0,11%	0,13%

Le cas $d = 0$ est particulièrement intéressant lorsque la dégradation due aux brouillages émanant d'un réseau non OSG donné ne dépasse jamais 12 dB.

Notons également que le critère le plus contraignant est $P(z \geq 12 \text{ dB}) \leq 0,04\%$, puisque les deux autres critères $P(z \geq 10,9 \text{ dB}) \leq 0,6\%$ et $P(z \geq 9,8 \text{ dB}) \leq 4\%$ sont respectés avec une marge importante.

Enfin, pour chaque ensemble de solutions $a = b = c$, la fonction de densité de probabilité de la dégradation due au brouillage aurait pu être représentée par une approximation plus simple (un seul palier au lieu de trois).

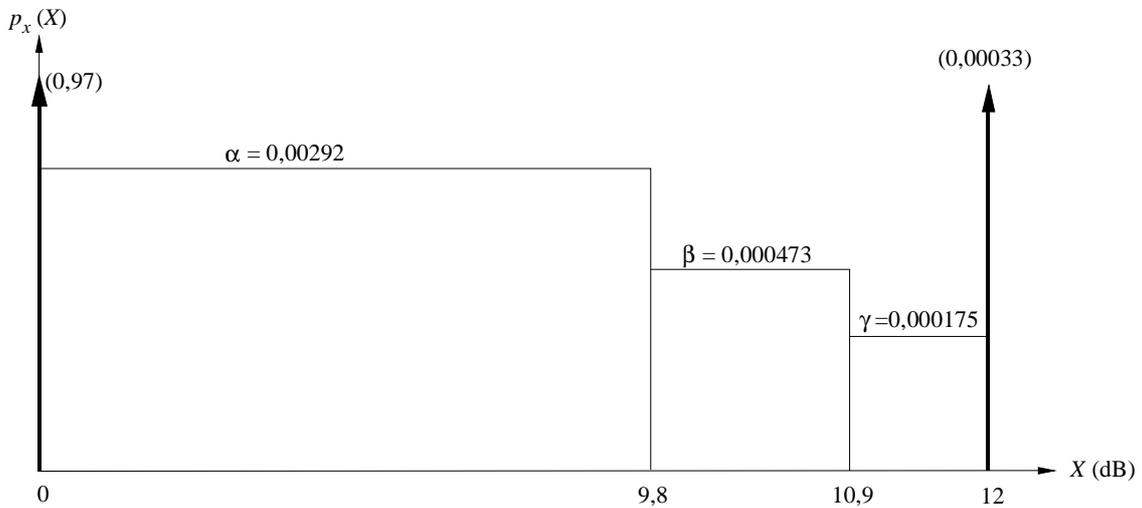
Pour conclure, les marges de brouillage totales pourraient être:

$P(I \leq 0,06 N_T) \geq$	99,69%	ou	99,29%
$P(I \geq 8,61 N_T) \leq$	0,06%		0,13%
$P(I \geq 11,36 N_T) \leq$	0,03%		0,065%
$P(I \geq 14,91 N_T) \leq$	0,004%		0,000%

6.3 Résultats obtenus avec un autre modèle de la fonction d'évanouissement

Pour évaluer l'incidence de la précision avec laquelle la fonction de densité de probabilité des évanouissements est représentée, nous avons procédé aux mêmes calculs avec la fonction $p_x(X)$ représentée sur la Fig. 8.

FIGURE 8



1323-08

Les solutions sont alors:

$d =$	0,00004	0,00003	0,00002	0,00001	0
$c =$	0,00020	0,00027	0,00034	0,00041	0,00047
$b =$	0,00020	0,00027	0,00034	0,00041	0,00047
$a =$	0,00020	0,00027	0,00034	0,00041	0,00047
$D =$	0,9975	0,9967	0,9959	0,9951	0,9943
$P(z \geq 12 \text{ dB})$	0,04%	0,04%	0,04%	0,04%	0,04 %
$P(z \geq 10,9 \text{ dB})$	0,08%	0,09%	0,10%	0,10%	0,11%
$P(z \geq 9,8 \text{ dB})$	0,16%	0,17%	0,18%	0,20%	0,21%
$P(y \geq 12 \text{ dB})$	0,004%	0,003%	0,002%	0,001%	0,000%
$P(y \geq 10,9 \text{ dB})$	0,03%	0,03%	0,04%	0,05%	0,05%
$P(y \geq 9,8 \text{ dB})$	0,05%	0,06%	0,07%	0,09%	0,10%

Les critères de brouillage sont un peu plus rigoureux dans ce cas, ce qui n'a rien de surprenant puisque les probabilités d'évanouissement ont été légèrement surestimées. En conséquence, la précision avec laquelle la fonction de densité de probabilité de la dégradation due aux évanouissements est représentée a une incidence directe sur les critères de brouillage.

7 Exemple 4 de la Méthode A

Dans cet exemple, on utilise la Méthode A pour calculer les marges de brouillage associées aux porteuses Ka-1 et Ka-2. Les caractéristiques de ces porteuses (voir le Tableau 9 de la Recommandation UIT-R S.1328) sont fort différentes de celles des porteuses Ka-3 et Ka-4, puisqu'elles correspondent à des systèmes de transmission point à point à débit de données élevé devant répondre aux objectifs de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T G.826. Par opposition aux porteuses Ka-3 et Ka-4, qui assurent les liaisons montantes et descendantes de transmissions effectuées par l'intermédiaire d'un répéteur avec régénération, les porteuses Ka-1 et Ka-2 assurent des transmissions effectuées par l'intermédiaire d'un répéteur transparent.

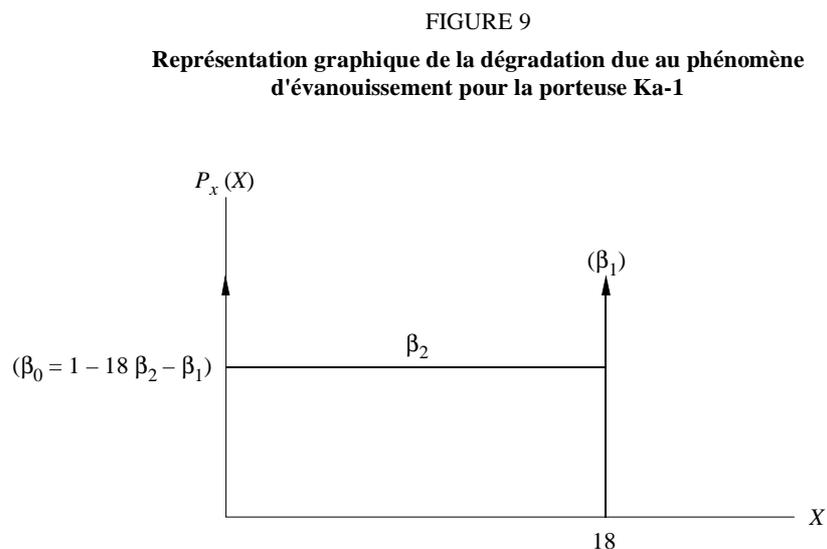
Nous reprendrons donc ci-après les diverses phases de la Méthode A pour chacune de ces porteuses.

7.1 Porteuse Ka-1

7.1.1 Données

Les données requises pour calculer les marges de brouillage sont les suivantes:

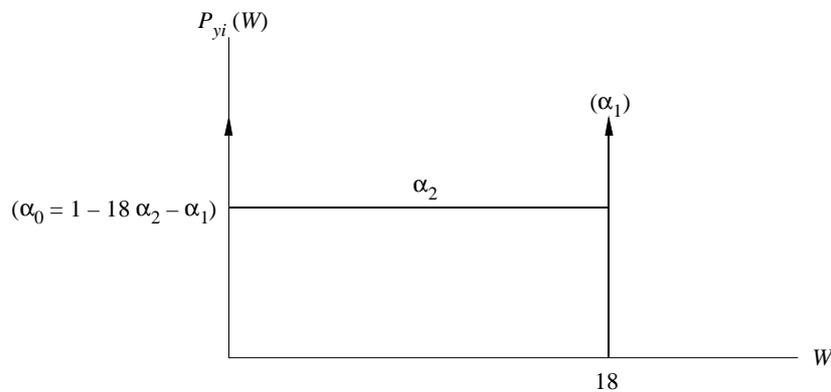
- a) La valeur de TEB 1×10^{-9} ne peut pas être dépassée pendant plus de 4% du temps.
La valeur de TEB 1×10^{-8} ne peut pas être dépassée pendant plus de 0,6% du temps.
La valeur de TEB 1×10^{-6} ne peut pas être dépassée pendant plus de 0,04% du temps.
- b) $C/N = 8,9$ dB pour TEB = 1×10^{-9} ; $C/N = 7,9$ dB pour TEB = 1×10^{-8}
 $C/N = 6,9$ dB pour TEB = 1×10^{-6} ; $(C/N)_{CS} = 24,9$ dB.
- c) On propose d'utiliser la représentation graphique de la Fig. 9 pour caractériser la dégradation due aux évanouissements.



Exemple de calcul: soit $\beta_1 = 0,00036$, $\beta_2 = 0,0002$ et $\beta_0 = 0,996$. Ces valeurs seraient représentatives d'une liaison montante avec une marge de commande de puissance d'environ 10 dB, exploitée par exemple dans la zone hydrométéorologique K (avec un angle d'élévation d'au moins 30°). On peut vérifier que, dans le cas d'une liaison descendante dans les mêmes conditions (zone et angle d'élévation) la marge disponible sur la liaison descendante (soit environ 25 dB) suffirait pour surmonter le problème posé par les évanouissements, exception faite de certains pourcentages de temps que l'on peut négliger par rapport à 0,036%. Notons que pour les valeurs retenues de β_1 , β_2 et β_0 , la condition de l'équation (6a) est respectée au sens strict pour $i = 1$, et largement respectée pour $i = 2$ et $i = 3$.

d) Appelons y_i la dégradation due aux brouillages émanant du i^e réseau (dB). Dans cet exemple, on suppose que la fonction de densité de probabilité de y_i est représentée graphiquement comme suit:

FIGURE 10
Représentation graphique de la dégradation due à la i^e composante de brouillage pour la porteuse Ka-1



1323-10

7.1.2 Procédure de calcul

Nous appliquons la Méthode A:

Etape 1: Le seuil de dégradation de 18 dB peut être dépassé pendant 0,04% du temps au maximum.

Le seuil de dégradation de 17 dB peut être dépassé pendant 0,6% du temps au maximum.

Le seuil de dégradation de 16 dB peut être dépassé pendant 4% du temps au maximum.

Un réseau brouilleur (N = 1)

Etapes 2, 3 et 4: Pour $N = 1$, $y = y_i$ et la densité de probabilité $p_y(W)$ peut être représentée graphiquement de façon directe, sans qu'il soit nécessaire de passer par des fonctions de densité de probabilité $p_{y_i}(V)$ ($i = 1, \dots, N$) intermédiaires. Dans ce cas, la représentation graphique proposée pour la dégradation totale due au brouillage est également celle de la Fig. 10.

Etape 5: La fonction $p_z(Z)$ résultante est illustrée à la Fig. 11.

Etape 6: Les inégalités à vérifier selon l'équation (18) sont:

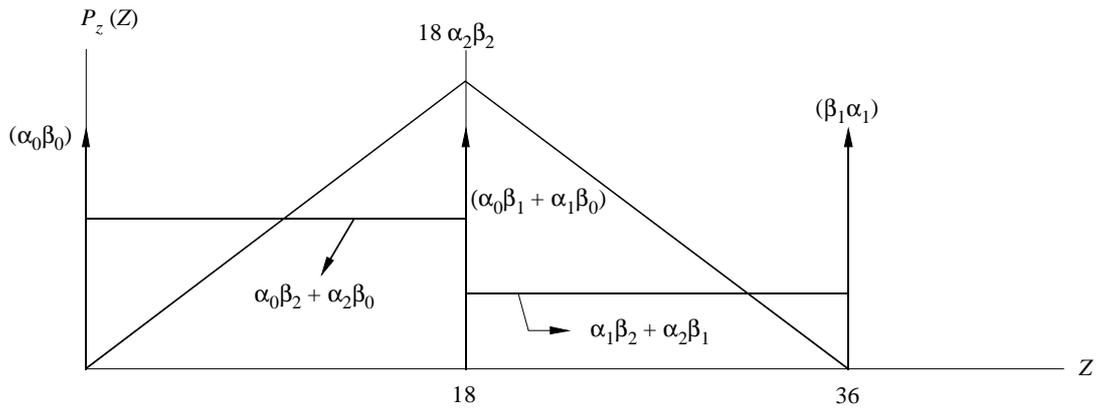
$$P(z \geq 18) \leq 0,0004 \tag{36}$$

$$P(z \geq 17) \leq 0,006 \tag{37}$$

$$P(z \geq 16) \leq 0,04 \tag{38}$$

FIGURE 11

Fonction de densité de probabilité de la dégradation totale pour la porteuse Ka-1



1323-11

A la limite de l'expression (36), c'est-à-dire lorsqu'il y a égalité, les deux expressions (37) et (38) peuvent être reformulées comme suit:

$$P(17 \leq z \leq 18) \leq 0,0056 \quad (39)$$

$$P(16 \leq z \leq 17) \leq 0,0396 \quad (40)$$

Solution possible pour les expressions (36), (39) et (40):

$$\alpha_0 = 0,9944; \quad \alpha_1 = 0,00003; \quad \alpha_2 = 0,00031$$

Etape 7: Avec les valeurs de α_0 , α_1 et α_2 obtenues dans l'étape 6 et la fonction de densité de probabilité de la Fig. 10, le gabarit de marge de brouillage devient:

$$P(I \geq 0) \leq 0,56\% \quad (41)$$

$$P(I \geq 38,8 N_T) \leq 0,065\% \quad (42)$$

$$P(I \geq 49,1 N_T) \leq 0,034\% \quad (43)$$

$$P(I \geq 62,1 N_T) \leq 0,003\% \quad (44)$$

ou encore, si l'on tient compte du fait qu'une marge de brouillage à long terme de 6% est déjà l'inclure dans le bruit de la liaison, le brouillage total I' (y compris la composante à long terme) devrait satisfaire aux expressions suivantes:

$$P(I' \geq 0,06 N_T) \leq 0,56\% \quad (45)$$

$$P(I' \geq 38,86 N_T) \leq 0,065\% \quad (46)$$

$$P(I' \geq 49,16 N_T) \leq 0,034\% \quad (47)$$

$$P(I' \geq 62,16 N_T) \leq 0,003\% \quad (48)$$

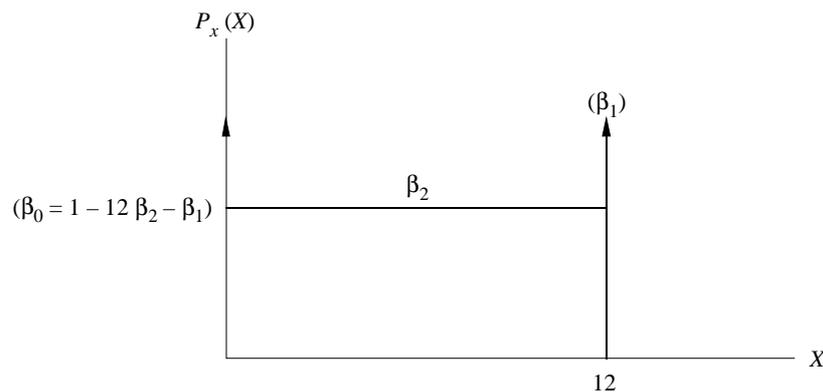
7.2 Porteuse Ka-2

7.2.1 Données

Les données requises pour le calcul des marges de brouillage sont les suivantes:

- a) La valeur de TEB 1×10^{-9} ne peut pas être dépassée pendant plus de 4% du temps.
 La valeur de TEB 1×10^{-8} ne peut pas être dépassée pendant plus de 0,6% du temps.
 La valeur de TEB 1×10^{-6} ne peut pas être dépassée pendant plus de 0,04% du temps.
- b) $C/N = 8,9$ dB pour TEB = 1×10^{-9} ; $C/N = 7,9$ dB pour TEB = 1×10^{-8}
 $C/N = 6,9$ dB pour TEB = 1×10^{-6} ; $(C/N)_{CS} = 18,9$ dB.
- c) On propose d'utiliser la représentation graphique de la Fig. 12 pour caractériser la dégradation due au phénomène d'évanouissement.

FIGURE 12
 Représentation graphique de la dégradation due au phénomène
 d'évanouissement pour la porteuse Ka-2



1323-12

Exemple de calcul: soit $\beta_1 = 0,00036$, $\beta_2 = 0,0002$ et $\beta_0 = 0,997$. Ces valeurs seraient représentatives d'une liaison montante avec une fourchette de commande de puissance d'environ 10 dB, c'est-à-dire exploitée dans la zone hydrométéorologique E (avec un angle d'élévation d'au moins 15°). On peut vérifier que, dans le cas d'une liaison descendante exploitée dans les mêmes conditions (zone et angle d'élévation) la marge disponible sur cette liaison descendante (environ 20 dB) suffirait pour s'accommoder du phénomène d'évanouissement, à l'exception de certains pourcentages de temps pouvant être négligés pour $\beta_1 = 0,036\%$. Notons que pour les valeurs considérées de β_1 , β_2 et β_0 , la condition de l'équation (6a) est respectée au sens strict pour $i = 1$ est largement respectée pour $i = 2$ et $i = 3$.

- c) Soit y_i la dégradation due aux brouillages émanant du i^e réseau (dB). Dans cet exemple, on suppose que la fonction de densité de probabilité de y_i est représentée graphiquement par la Fig. 13.

7.2.2 Procédure de calcul

Nous appliquons de la Méthode A:

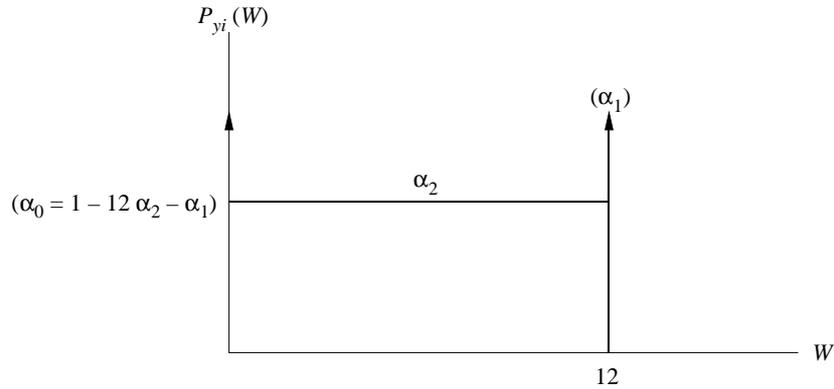
Le seuil de dégradation de 12 dB peut être dépassé pendant 0,04% du temps au maximum.

Le seuil de dégradation de 11 dB peut être dépassé pendant 0,6% du temps au maximum.

Le seuil de dégradation de 10 dB peut être dépassé pendant 4% au maximum.

FIGURE 13

Représentation graphique de la dégradation due à la i^e composante de brouillage pour la porteuse Ka-2



1323-13

Un réseau brouilleur ($N = 1$)

Etapes 2, 3 et 4: Lorsque $N = 1$, $y = y_i$ et la densité de probabilité $p_y(W)$ peut être représentée graphiquement de façon directe, sans qu'il soit nécessaire de passer par les fonctions de densité de probabilité $p_{vi}(V)$ ($i = 1, \dots, N$) intermédiaires. Dans ce cas, la représentation graphique proposée pour la dégradation totale due au brouillage est également celle de la Fig. 13.

Etape 5: La fonction $p_z(Z)$ résultante est représentée à la Fig. 14.

Etape 6: Les inégalités à vérifier selon l'équation (18) sont:

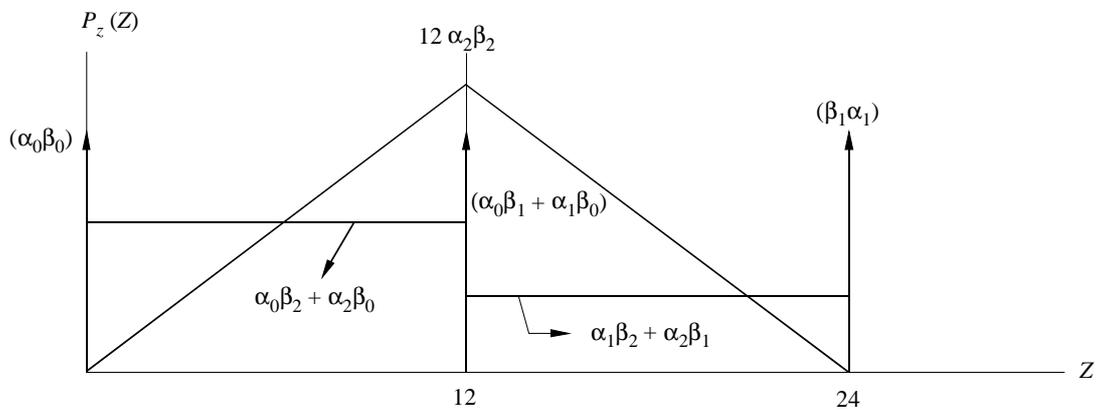
$$P(z \geq 12) \leq 0,0004 \tag{49}$$

$$P(z \geq 11) \leq 0,006 \tag{50}$$

$$P(z \geq 10) \leq 0,04 \tag{51}$$

FIGURE 14

Fonction de densité de probabilité de la dégradation totale pour la porteuse Ka-2



1323-14

A la limite de l'expression (49), c'est-à-dire lorsqu'il y a égalité, les expressions (50) et (51) peuvent être reformulées comme suit:

$$P(11 \leq z \leq 12) \leq 0,0056 \quad (52)$$

$$P(10 \leq z \leq 11) \leq 0,0396 \quad (53)$$

Solution possible pour les expressions (49), (52) et (53):

$$\alpha_0 = 0,9916; \quad \alpha_1 = 0,00003; \quad \alpha_2 = 0,0007$$

Etape 7: Avec les valeurs de α_0 , α_1 , et α_2 obtenues dans l'étape 6 et la fonction de densité de probabilité de la Fig. 13, le gabarit de masque de brouillage devient:

$$P(I \geq 0) \leq 0,84\% \quad (54)$$

$$P(I \geq 9 N_T) \leq 0,143\% \quad (55)$$

$$P(I \geq 11,6 N_T) \leq 0,073\% \quad (56)$$

$$P(I \geq 14,8 N_T) \leq 0,003\% \quad (57)$$

ou, compte tenu du fait qu'une marge de brouillage à long terme de 6% est déjà incluse dans le bruit de la liaison, le brouillage total I' (y compris la composante à long terme) devrait être tel que les inégalités suivantes seraient vérifiées:

$$P(I' \geq 0,06 N_T) \leq 0,84\% \quad (58)$$

$$P(I' \geq 9,06 N_T) \leq 0,143\% \quad (59)$$

$$P(I' \geq 11,66 N_T) \leq 0,073\% \quad (60)$$

$$P(I' \geq 14,86 N_T) \leq 0,003\% \quad (61)$$

PARTIE 2

Méthode B

Dans la Méthode B, on considère les effets des brouillages séparément des phénomènes d'évanouissement, et on résume les objectifs de qualité de fonctionnement par une seule valeur seuil de TEB (ou de rapport C/N) ne devant pas être dépassée pendant un pourcentage de temps donné. Du fait que l'on ne considère qu'une seule valeur seuil de TEB (ou de rapport C/N), on peut certainement affecter une fraction ($1/n$) de la marge de temps prévue pour les phénomènes de brouillage à chacune des n sources de brouillage considérées, que l'on traite alors séparément. On estime que la Méthode B convient pour l'étude des brouillages occasionnés à des liaisons de connexion du SMS non OSG (ou SFS non OSG) avec traitement à bord ou avec répéteur transparent dans la bande 20/30 GHz. La Méthode B s'inscrit dans le cadre de la Méthode A, qu'elle simplifie toutefois considérablement compte tenu des précisions données plus haut.

Pour bien définir la relation entre la Méthode A et la Méthode B, nous décrivons la seconde en adoptant le plan qui nous a permis de décrire la première: hypothèses de départ, données requises, procédure proposée.

1 Hypothèses de départ

Hypothèse 1: Du fait que le système dépend fortement de la commande de puissance, nous considérerons que la fraction des effets cumulatifs des phénomènes de brouillage et d'évanouissement non intégralement compensée par la commande de puissance n'est pas significative. En d'autres termes, on peut déterminer les marges de brouillage en supposant que le brouillage cumulatif propre (sans dégradation simultanée due à un phénomène d'évanouissement) peut «absorber» 10% des marges de temps dont il est question au *recommande* 3.1.

Hypothèse 2: Lorsque n systèmes partageant la même partie du spectre avec le système utile sont susceptibles d'occasionner des brouillages à ce dernier, la marge de temps affectée à chaque système est égale à $1/n$ de la marge de temps totale prévue pour les brouillages ($1/n$ de 10% de la marge de temps totale dans les objectifs de qualité de fonctionnement). Par ailleurs, l'effet de chaque source de brouillage est traité séparément.

La validité de cette approche ressort clairement de la Fig. 15. Considérons les brouillages captés par un système LEO A et causés par un réseau OSG de type GSO 13. Ce système fait intervenir une commande de puissance adaptative sur la liaison montante et des stations terriennes relativement petites (66 cm). Les deux réseaux sont associés à des stations terriennes situées au même lieu géographique, à 33° N. Dans cette simulation, on calcule la probabilité cumulative de brouillage en fonction de la longitude relative du satellite OSG. Comme on peut le constater à la Fig. 15, les niveaux de brouillages maximaux captés par le système LEO A ne dépendent pas fortement de la longitude relative du satellite OSG sur un arc d'environ $\pm 50^\circ$ à cette latitude. Le nombre maximum n correspondant à cette station non OSG serait alors $100^\circ/x$, x étant l'espacement orbital minimal des satellites OSG à 20/30 GHz dans les bandes attribuées au SFS (non OSG et OSG).

Il convient de noter que le nombre n effectif serait très vraisemblablement différent du nombre maximal. Les opérations de coordination OSG-OSG entre administrations voisines réduiraient probablement le nombre de fenêtres visibles sur lesquelles pourraient être situées, en des lieux identiques, des stations terriennes OSG.

Hypothèse 3: Il découle de l'hypothèse 2 que le problème causé par la dégradation due à une composante de brouillage unique peut être traité directement. Soit I la composante unique de brouillage et N_T le bruit total sur la liaison, la dégradation y_{SE} due à un signal brouilleur unique s'écrit:

$$y_{SE} = 10 \log Y \quad (62)$$

avec:

$$Y = 1 + I/N_T \quad (63)$$

2 Données

- a) Valeur seuil du TEB, TEB_t ou du rapport $(C/N)_t$ et pourcentage de l'année p pendant lequel le TEB peut être moins bon que la valeur TEB_t .
- b) Rapport porteuse-bruit par ciel clair $(C/N)_{CS}$.
- c) Nombre n de réseaux brouilleurs pouvant être à l'origine de brouillages à court terme et devant partager avec le réseau utile une même bande de fréquences. Dans le cas d'un réseau utile non OSG, n est égal au nombre des autres réseaux non OSG additionné du nombre des positions, sur l'OSG, pouvant être à l'origine de brouillages, visibles au-dessus de l'angle d'élévation opérationnel minimal, pour la station terrienne du réseau non OSG. Le nombre maximal de positions OSG brouilleuses visibles par la station terrienne non OSG est fonction de la latitude et de l'espacement minimal sur l'OSG que l'on peut obtenir pour la bande du SFS considérée.

3 Procédure proposée

Etape 1a: A partir des données a) et b) calculer:

$$z_t = (C/N)_{CS} - (C/N)_t \quad \text{dB} \quad (64)$$

Etape 2a: A partir des hypothèses 1 et 2:

$$P(y_{SE} \leq z_t) \geq (1/n) (p/10) \quad \% \quad (65)$$

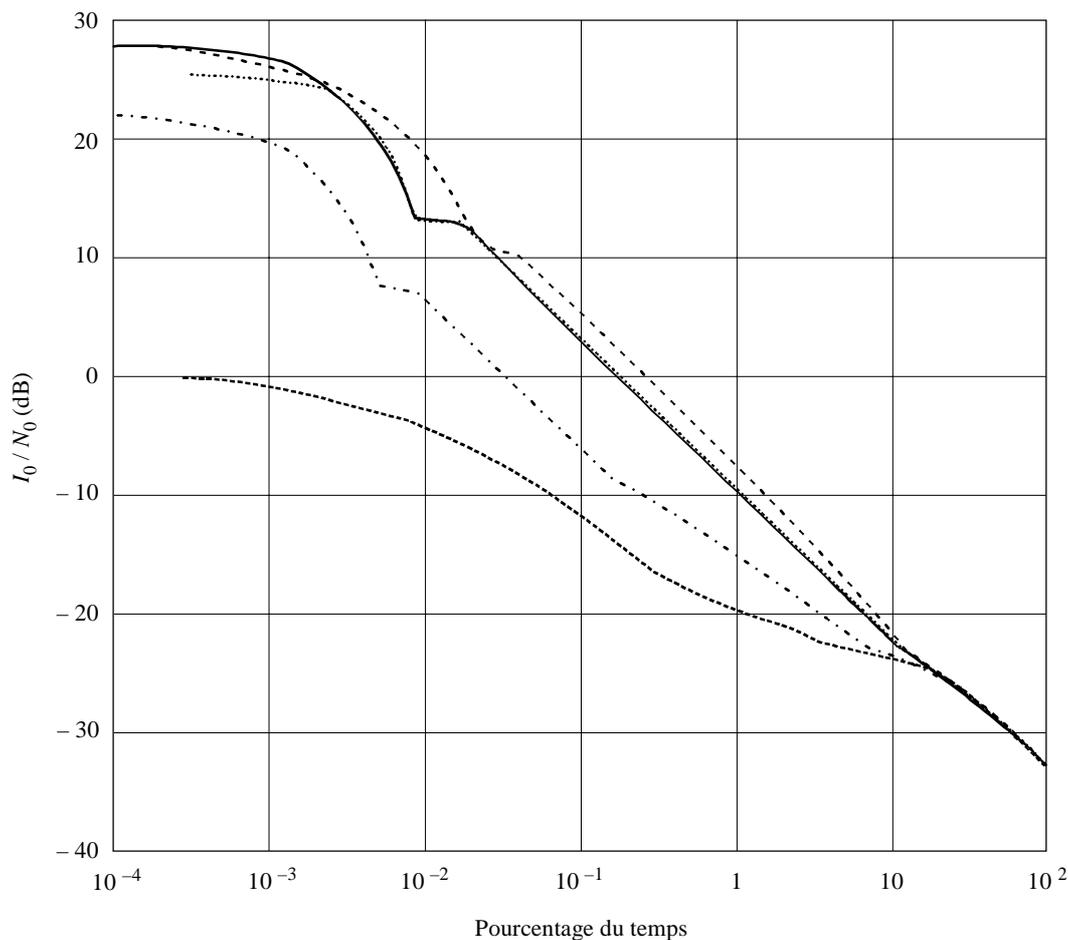
ou encore, à partir des équations (62) et (63):

$$P\left[I \leq (10 z_t / 10 - 1) N_T\right] \geq (0,1/n) (p) \quad (66)$$

qui correspond au niveau de brouillage admissible (composante unique).

FIGURE 15

Brouillages, sur liaison montante, causés par le système GSO 13 au système LEO A



1323-15

4 Exemple 1 de la Méthode B: (LEO A)

Les caractéristiques du système LEO A sont exposées dans le Rapport du Président du Groupe de travail 4A des radio-communications (page 204 de la version anglaise) modifié à la réunion de janvier 1997 du Groupe de travail 4A et dans le document de liaison du Groupe de travail 4B pour ce qui est des objectifs de qualité de fonctionnement d'une liaison de connexion SMS non OSG 20/30 GHz de type LEO A. Les caractéristiques du système LEO A sont résumées au Tableau 1. Les données requises pour calculer les marges de brouillage sont:

a) $TEB_t = 10^{-5}$ avec $C/N = 6,4$ dB (composante montante et composante descendante de la liaison).

L'objectif global de temps d'interruption pour ces deux liaisons est $p = 0,1\%$

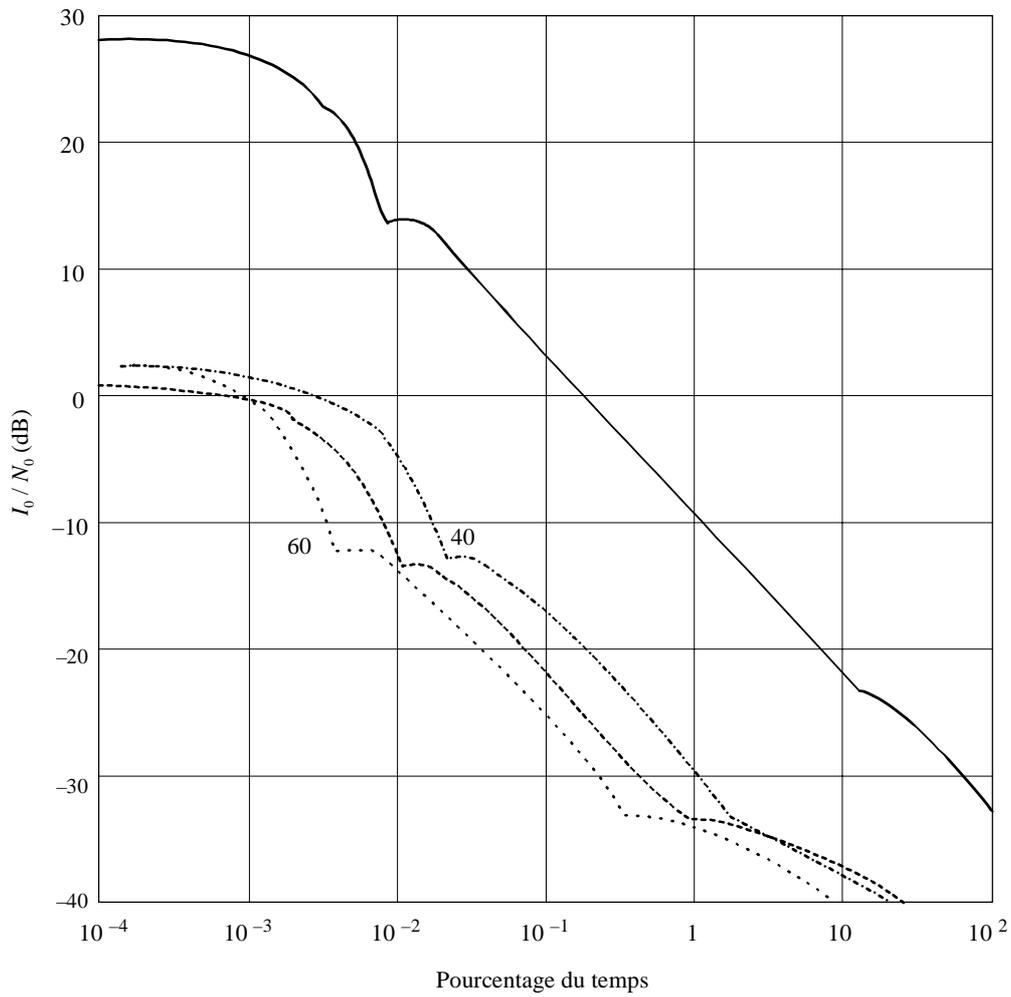
b) $(C/N)_{CS} - (C/N)_t = 10,7 - 6,4 = 3,1$ dB

c) Il en résulte que la marge de brouillage pour un seul signal brouilleur devient:

$$P[I/N_T \leq 0,2 \text{ dB}] \geq (1/n) 0,01\%$$

d) Il reste à déterminer n . La Fig. 16 donne un exemple de calcul du brouillage occasionné sur la liaison montante par une station GSO 13 située à 5° S de la station terrienne non OSG. Le brouillage émanant d'un seul réseau est approximativement égal au brouillage total pendant 0,01% du temps.

FIGURE 16
 Statistiques de probabilité cumulative de brouillages sur une liaison montante de système LEO A causés par le système GSO 13



Longitude relative	Elévation OSG
————— 00°	53° même emplacement
----- 00°	53° non OSG 5° N
- - - - - 40°	33° non OSG 5° N
..... 60°	18° non OSG 5° N

TABLEAU 1

Caractéristiques du système LEO A 20/30 GHz

Paramètre	Valeur
Désignation du système	LEO A (Rapport de la Réunion de préparation à la Conférence de 1995 (RPC-95))
Bande exploitée (GHz)	20/30
Nombre de satellites	66
Altitude de l'orbite (km)	780
Type de service	Liaisons de connexion associées aux liaisons de service du SMS, exploitation de réseau, données de commande satellite
Liaisons intersatellites	Oui
Antennes de station terrienne	3 m, poursuite par mono-impulsions
Nombre de stations terriennes	10-20 stations têtes de ligne réparties dans le monde, raccordées chacune à un RTPC
Modulation/accès	MRT/AMRF MDP-4
Débit de données de tête de ligne	3,125 Mbit/s, ultérieurement porté à 6,250 Mbit/s
Codage de canal	Viterbi à demi-débit
Angle minimal d'élévation en exploitation (degrés)	10
Commande de puissance	Adaptative en fonction de la distance et des conditions météorologiques
Marges de liaison pour conditions météorologiques	<i>Commande de puissance</i> : 25 dB liaison montante, 10 dB liaison descendante
Objectifs de qualité de fonctionnement	TEB à long terme $< 1 \times 10^{-7}$, disponibilité 99,9% de l'année. Indisponible pour TEB $> 1 \times 10^{-5}$ ou $C/N < 6,4$ dB

5 Exemple 2 de la Méthode B: (LEO B)

Les caractéristiques du système LEO B sont exposées dans le Rapport du Président du Groupe de travail 4A des radio-communications (page 204). Les données requises pour le calcul des marges de brouillage sont:

- a) $p = 0,1\%$
- b) $(C/N)_{CS} - (C/N)_t = 3$
- c) N est à déterminer.

Ainsi, la marge de brouillage pour une seule composante s'écrit:

$$P[I \geq N_T] \leq (1/N) 0,01\%$$

TABLEAU 2

**Objectif de qualité de fonctionnement et caractéristiques des systèmes SFS OSG
(liaisons de connexion SMS non OSG)**

Paramètre	Valeur
Désignation du système	LEO B
Catégorie de service (SFS OSG, SFS non OSG ou liaison de connexion SMS non OSG)	Liaisons de connexion SMS non OSG
Fréquence (GHz) – Terre-espace – espace-Terre	29,1-29,4 19,3-19,6
Longueur de trajet en espace libre (km) – minimum (angle d'élévation: 90°) – maximum (angle d'élévation: 10°)	10 355 14 403
Angle d'élévation de la station terrienne en direction du satellite (degrés) – minimum – maximum	Angle d'élévation: 10 Angle d'élévation: 90
Liaisons intersatellites (oui ou non) (Le cas échéant, fournir les informations pertinentes, voir ci-dessus)	Non
Type de message (voix, données, vidéo, radiorecherche, messagerie, etc.)	Voix, données, radiorecherche, messagerie
Débit de données	Variable, selon les applications
Modulation	MDP-4 (AMRF/AMRC)
CED (type)	Code à convolution Débit: ¾ à ½, K = 9
Qualité de fonctionnement du réseau (caractéristiques nominales) Disponibilité (%)	≥ 99,9% (liaisons de connexion)
Critères de brouillage acceptable	La valeur seuil de brouillage du rapport $I_0/N_0 > 0$ dB ne doit pas être dépassée pendant plus de 0,01% du temps

PARTIE 3

Méthode C

La qualité de fonctionnement à la sortie d'une liaison par satellite qui, par définition, comprend une composante montante et une composante descendante, dans un système du SFS OSG ou non OSG, est réduite par les brouillages occasionnés sur les liaisons montantes et/ou sur les liaisons descendantes par d'autres systèmes exploités dans les mêmes fréquences. Si un certain niveau de brouillage intersystèmes est pris en compte dans les études techniques, d'autres brouillages dus à d'autres systèmes sont tolérables aussi longtemps que les dégradations de la qualité de la liaison sont encore comprises dans les limites résultant des objectifs de qualité de fonctionnement donnés. On peut déterminer les limites acceptables de brouillage total pour la liaison montante et pour la liaison descendante à partir des paramètres de qualité de fonctionnement associés à la liaison par satellite SFS utile, comme indiqué sous le § b), dès lors que l'on dispose pour la même liaison des autres données suivantes:

- TEB_0 soit la valeur du TEB que la liaison par satellite SFS utile présente par conception dans des conditions de propagation par ciel clair avec un certain niveau de brouillage intersystèmes (se reporter au § c));
- TEB_i et \bar{t}_i , $i = 1, 2, \dots, n$, $TEB_i < TEB_0$ lorsque, par définition, les paramètres TEB_i et \bar{t}_i , sont tels que le TEB de la liaison par satellite SFS utile peut être moins bon que le TEB_i du fait que le brouillage intersystèmes n'est pas pris en compte de façon adéquate dans les données du § a) pendant au maximum une fraction de temps égale à \bar{t}_i , les indices 1, 2, ..., n constituant l'ensemble des objectifs de qualité de fonctionnement (TEB_i , \bar{t}_i);

c) $\alpha_0^{(u)} \equiv I_0^{(u)} / N_t^{(u)}$ et $\alpha_0^{(d)} \equiv I_0^{(d)} / N_t^{(d)}$, $I_0^{(u)}$ et $I_0^{(d)}$ étant les niveaux de brouillage compensés de la composante montante et de la composante descendante de la liaison par satellite SFS utile, ce qui signifie que le TEB_0 défini au § a) est respecté avec la présence simultanée de $I_0^{(u)}$ sur la composante montante et de $I_0^{(d)}$ sur la composante descendante, tandis que $N_t^{(u)}$ et $N_t^{(d)}$ sont les densités spectrales de bruit thermique total, brouillages internes compris, associées exclusivement et respectivement à la composante montante et à la composante descendante;

d) $TEB_0^{(u)}$ et $TEB_0^{(d)}$ pour une liaison par satellite SFS à démodulation/remodulation (traitement à bord), $TEB_0^{(u)}$ et $TEB_0^{(d)}$ étant les valeurs de TEB attribuées respectivement à la composante montante et à la composante descendante sur un TEB_0 défini comme selon le § a), tandis que $TEB_0^{(u)} + TEB_0^{(d)} = TEB_0$ lorsque ces valeurs ne sont pas connues, on peut raisonnablement supposer que l'on a: $TEB_0^{(u)} = TEB_0^{(d)} = TEB_0/2$;

e) $\bar{y}_{ud} \equiv [C^{(u)} / (N_t^{(u)} + I_0^{(u)})] / [C^{(d)} / (N_t^{(d)} + I_0^{(d)})]$ pour une liaison par satellite SFS à guide d'ondes coudé; en d'autres termes, le rapport porteuse/bruit de la composante montante au rapport correspondant de la composante descendante, $C^{(u)}$ et $C^{(d)}$ étant respectivement les puissances de porteuse reçues sur la composante montante et sur la composante descendante dans les conditions des § a) et c) ou, lorsque ces paramètres ne sont pas connus, $\bar{y}_{ud} = 1$.

Ainsi, les niveaux cumulatifs de brouillage suivants, dus à la totalité des autres systèmes partageant les mêmes bandes de fréquences, sont acceptables compte tenu des objectifs de qualité de fonctionnement définis plus haut sur la base des calculs de l'Appendice 2.

CasError! Cannot open file. 1: pour une liaison par satellite du SFS à démodulation-remodulation:

$$\alpha_i^{(u)} \equiv I_i^{(u)} / N_t^{(u)} = \left[1 + \alpha_0^{(u)} \right] \left[\log TEB_0^{(u)} / \log TEB_i^{(u)} \right]^{1/c_i} - 1 \quad (67a)$$

sur la composante montante de la liaison

$$\alpha_i^{(d)} \equiv I_i^{(d)} / N_t^{(d)} = \left[1 + \alpha_0^{(d)} \right] \left[\log TEB_0^{(d)} / \log TEB_i^{(d)} \right]^{1/c_i} - 1 \quad (67b)$$

sur la composante descendante de la liaison

pendant au maximum une fraction du temps, \bar{t}_i sous réserve que:

$$TEB_i^{(u)} + TEB_i^{(d)} = TEB_i \quad (68)$$

et que:

$$TEB_i^{(u)} > TEB_0^{(u)} \quad \text{et} \quad TEB_i^{(d)} > TEB_0^{(d)} \quad (69)$$

$TEB_0^{(u)}$ et $TEB_0^{(d)}$, étant les valeurs de TEB que présentent respectivement les composantes montante et descendante de la liaison, sans brouillage intersystèmes, selon la définition donnée au § d). Notons qu'une valeur inférieure du $TEB_i^{(u)}$, ($TEB_i^{(d)}$), correspond à un moindre niveau de brouillage pour la composante montante (ou descendante) et permet donc de tolérer un niveau de brouillage supérieur pour la composante descendante (montante), et inversement. Lorsque $TEB_i^{(u)} < TEB_0^{(u)}$, $\alpha_i^{(u)} < \alpha_0^{(u)}$, c'est-à-dire que la composante montante de la liaison présente un niveau de brouillage inférieur au niveau initialement pris en compte pendant l'étude technique de la liaison (toutefois, la marge excédentaire n'a qu'une incidence marginale sur la liaison descendante, puisque le traitement de démodulation/remodulation à bord du satellite retransmet les erreurs sur les bits, mais non pas le bruit et le brouillage, de la composante montante à la composante descendante. Des observations analogues s'appliquent au cas $TEB_i^{(d)} < TEB_0^{(d)}$).

Cas 2: pour une liaison par satellite SFS à guide d'ondes coudé,

$$\alpha_i^{(u)} \equiv I_i^{(u)} / N_t^{(u)} = (1 + \alpha_0^{(u)}) \bar{x}_i^{(u)} - 1 \quad (70a)$$

sur la composante montante de la liaison

$$\alpha_i^{(d)} \equiv I_i^{(d)} / N_t^{(d)} = (1 + \alpha_0^{(d)}) \bar{x}_i^{(d)} - 1 \quad (70b)$$

sur la composante descendante de la liaison

pendant une fraction de temps maximale, \bar{t}_i , sous réserve que

$$\bar{x}_i^{(u)} + \bar{y}_{ud} \bar{x}_i^{(d)} = (1 + \bar{y}_{ud}) \bar{x}_i, \bar{x}_i = (\log TE B_0 / \log TE B_i)^{1/c_i} \quad (71)$$

$$\bar{x}_i^{(u)} \geq 1 / \left(1 + \alpha_0^{(u)}\right), \bar{x}_i^{(d)} \geq 1 / \left(1 + \alpha_0^{(d)}\right) \quad (72)$$

où:

$$\bar{x}_i^{(u)} \equiv \left(N_t^{(u)} + I_i^{(u)}\right) / \left(N_t^{(u)} + I_0^{(u)}\right) \quad (73a)$$

$$\bar{x}_i^{(d)} \equiv \left(N_t^{(d)} + I_i^{(d)}\right) / \left(N_t^{(d)} + I_0^{(d)}\right) \quad (73b)$$

Ici, l'expression $\bar{x}_i^{(u)} (\bar{x}_i^{(d)})$ est le ratio du rapport porteuse/bruit nominal au rapport porteuse/bruit modifié pour la composante montante (descendante) de la liaison, tandis que \bar{x}_i est le même ratio, mais pour la totalité de la liaison par satellite. Notons encore que les «compromis» de niveau de brouillage entre la composante montante et la composante descendante de la liaison sont analogues aux observations faites dans le cas d'un système avec démodulation-remodulation. Toutefois, ces compromis sont plus marqués, du fait que le système à guide d'ondes coudé reporte le bruit et le brouillage de la liaison montante à la liaison descendante. Plus précisément, une valeur inférieure de $\bar{x}_i^{(u)} (\bar{x}_i^{(d)})$ correspond à un moindre niveau de brouillage pour la composante montante (descendante) et permet donc d'accepter un niveau de brouillage plus important sur la composante descendante (montante), et inversement. Lorsque $\bar{x}_i^{(u)} < 1$, $\alpha_i^{(u)} < \alpha_0^{(u)}$, c'est-à-dire que la liaison montante présente moins de brouillage qu'initialement supposé dans les études techniques, et que l'excédent de marge disponible est reporté sur la composante descendante. Ici encore, on peut faire les mêmes observations que dans le cas $\bar{x}_i^{(d)} < 1$.

Le nombre de séries de signaux brouilleurs couverts par l'indice i dans l'un ou l'autre cas correspond au nombre d'objectifs de qualité de fonctionnement spécifiés au § b). Par ailleurs, la valeur du paramètre c_i qui figure dans l'équation précédente peut être obtenue directement à partir de la courbe représentative du TEB en fonction du ratio E_b/N_0 pour la liaison par satellite SFS utile, conformément à l'équation suivante:

$$c_i \approx 10 \log \left(\log TE B_0 / \log TE B_i \right) / \left(10 \log x_0 / x_i \right) \quad (74)$$

dans laquelle x_0 et x_i sont les valeurs absolues du rapport E_b/N_0 qui permettent d'obtenir respectivement le $TE B_0$ et le $TE B_i$ des conditions a) et b) ci-dessus, l'indice i étant ici encore défini pour l'ensemble des objectifs de qualité de fonctionnement du § b). On peut également poser en hypothèse que $c_i = 2,5$. Cette valeur correspond en effet aux systèmes de codage les plus «agressifs» utilisés dans les modems de satellite actuellement disponibles, qui présentent des courbes $TE B E_b/N_0$ à très forte pente, donnant des niveaux de brouillage tolérables extrêmement faibles pour la gamme de valeurs de dégradation du $TE B$ considérée.

Pour résumer, les limites de brouillage cumulatif applicables à la composante montante et à la composante descendante d'une liaison par satellite OSG ou non OSG du SFS, exprimées sous forme de fractions de densité spectrale du bruit thermique total et des brouillages internes cumulatifs associés aux liaisons correspondantes, peuvent être déterminées sur la base des objectifs de qualité de fonctionnement et de quelques autres données correspondant à autant d'hypothèses de travail. Les équations applicables aux systèmes à démodulation-remodulation et aux systèmes à guide d'ondes coudé figurent à la suite des sous-titres correspondants. De plus amples détails sur leur calcul sont proposés dans l'Appendice 2.

En conclusion, il faut noter que lorsque l'on ne considère que la liaison montante ou la liaison descendante isolément, il suffit d'employer l'une des deux équations qui figurent sous l'intitulé du cas 1 (soit (67a) ou (67b)), la question de savoir si le système à satellites est un système à démodulation ou un système à guide d'ondes coudé n'ayant en l'occurrence aucune importance. C'est dire que l'analyse «monocomposante» correspond tout simplement à un cas particulier de la méthode.

1 Exemple 1 de la Méthode C

Soit un système à satellite avec démodulation-remodulation ($c_i = 2,5$) présentant les caractéristiques suivantes:

a) $TE B_0 = 2 \times 10^{-12}$

b) $TE B_1 = 2 \times 10^{-10}$, $TE B_2 = 2 \times 10^{-8}$, $TE B_3 = 2 \times 10^{-6}$

$$\bar{t}_1 = 1\% , \bar{t}_2 = 0,2\% , \bar{t}_3 = 0,02\%$$

$$c) \quad \alpha_0^{(u)} \equiv I_0^{(u)} / N_t^{(u)} = 0,2 \text{ et } \alpha_0^{(d)} \equiv I_0^{(d)} / N_t^{(d)} = 0,2$$

$$d) \quad TEB_0^{(u)} = TEB_0^{(d)} = TEB_0 / 2 = 1 \times 10^{-12}.$$

Si les erreurs sur les bits sont également réparties entre les composantes montante et descendante, c'est-à-dire si:

$$TEB_1^{(u)} = TEB_1^{(d)} = TEB_1 / 2 = 1 \times 10^{-10}$$

$$TEB_2^{(u)} = TEB_2^{(d)} = TEB_2 / 2 = 1 \times 10^{-8}$$

$$TEB_3^{(u)} = TEB_3^{(d)} = TEB_3 / 2 = 1 \times 10^{-6}$$

de sorte que les contraintes (68) et (69) sont respectées, les limites de brouillage associées à la liaison montante et à la liaison descendante, à partir de l'équation (67a) et de l'équation (67b), s'établissent comme suit:

$$I_1^{(u)} / N_t^{(u)} = I_1^{(d)} / N_t^{(d)} = 1,2 \times \left(\log 10^{-12} / \log 10^{-10} \right)^{1/2,5} - 1 = 0,29$$

$$I_2^{(u)} / N_t^{(u)} = I_2^{(d)} / N_t^{(d)} = 1,2 \times \left(\log 10^{-12} / \log 10^{-8} \right)^{1/2,5} - 1 = 0,41$$

$$I_3^{(u)} / N_t^{(u)} = I_3^{(d)} / N_t^{(d)} = 1,2 \times \left(\log 10^{-12} / \log 10^{-6} \right)^{1/2,5} - 1 = 0,58$$

pendant au maximum les pourcentages de temps respectifs spécifiés au § b). Comme prévu, le système fortement codé (voir la valeur de c_i) donne une étroite fourchette de variations des limites de brouillage et une large fourchette de TEB.

Lorsque l'objectif de qualité de fonctionnement est défini par une seule valeur de TEB (TEB d'au moins 2×10^{-10} pendant au moins 99%, ce qui signifie que le TEB peut être moins bon que $TEB_1 = 2 \times 10^{-10}$ pendant au plus $\bar{t}_1 = 1\%$ du temps), il suffit d'évaluer le brouillage correspondant à cette spécification. Plus précisément, le calcul fait apparaître une situation acceptable lorsque les niveaux normalisés de brouillage associés à la composante montante comme à la composante descendante de la liaison n'excèdent la valeur 0,29 que pendant 1% du temps au maximum.

2 Exemple 2 de la Méthode C

Reprenons les mêmes données que précédemment, mais en supposant que l'on ne tolère aucune dégradation du TEB sur la liaison montante, c'est-à-dire que $TEB_1^{(u)} = TEB_2^{(u)} = TEB_3^{(u)} \approx TEB_0^{(u)} = 1 \times 10^{-12}$, de sorte que, selon l'expression (68), $TEB_i^{(d)} \approx TEB_i$, $i = 1, 2, 3$, l'expression (67a) donne:

$$I_1^{(u)} / N_t^{(u)} = I_2^{(u)} / N_t^{(u)} = I_3^{(u)} / N_t^{(u)} = \alpha_0^{(u)} = 0,2$$

et:

$$I_1^{(d)} / N_t^{(d)} = 1,2 \times \left[\log 10^{-12} / \log \left(2 \times 10^{-10} \right) \right]^{1/2,5} - 1 = 0,31$$

$$I_2^{(d)} / N_t^{(d)} = 1,2 \times \left[\log 10^{-12} / \log \left(2 \times 10^{-8} \right) \right]^{1/2,5} - 1 = 0,43$$

$$I_3^{(d)} / N_t^{(d)} = 1,2 \times \left[\log 10^{-12} / \log \left(2 \times 10^{-6} \right) \right]^{1/2,5} - 1 = 0,62$$

Manifestement, la liaison montante ne peut pas tolérer un brouillage supérieur à la valeur prise en compte lors de la conception du système. En revanche, sur la liaison descendante, on observe un léger accroissement des limites de brouillage par rapport à l'exemple précédent, alors même que l'on ne doit pas accepter, sur la liaison montante, un brouillage dépassant la limite théorique. Cette observation confirme que les compromis effectifs entre les marges de brouillage sur la composante montante et sur la composante descendante sont marginaux dans le cas d'un système à démodulation-remodulation.

3 Exemple 3 de la Méthode C

Considérons maintenant un système à satellite à guide d'ondes coudé ($c_i = 2,5$) avec les données initiales suivantes:

- a) $TEB_0 = 1 \times 10^{-12}$
 b) $TEB_1 = 1 \times 10^{-10}$, $TEB_2 = 1 \times 10^{-8}$, $TEB_3 = 1 \times 10^{-6}$
 $\bar{t}_1 = 1\%$, $\bar{t}_2 = 0,2\%$, $\bar{t}_3 = 0,02\%$
 c) $\alpha_0^{(u)} \equiv I_0^{(u)} / N_t^{(u)} = 0,2$ et $\alpha_0^{(d)} \equiv I_0^{(d)} / N_t^{(d)} = 0,2$
 d) $\bar{y}_{ud} = 1$.

Lorsque la dégradation du rapport porteuse/bruit est la même sur la composante montante et la composante descendante, c'est-à-dire lorsque $\bar{x}_i^{(u)} = \bar{x}_i^{(d)}$, $i = 1, 2, 3$, on a $\bar{x}_i^{(u)} = \bar{x}_i^{(d)} = \bar{x}_i = (\log TEB_0 / \log TEB_i)^{1/c_i}$ selon l'expression (71). En conséquence, d'après (70a) et (70b),

$$I_1^{(u)} / N_t^{(u)} = I_1^{(d)} / N_t^{(d)} = 1,2 \times \left(\log 10^{-12} / \log 10^{-10} \right)^{1/2,5} - 1 = 0,29$$

$$I_2^{(u)} / N_t^{(u)} = I_2^{(d)} / N_t^{(d)} = 1,2 \times \left(\log 10^{-12} / \log 10^{-8} \right)^{1/2,5} - 1 = 0,41$$

$$I_3^{(u)} / N_t^{(u)} = I_3^{(d)} / N_t^{(d)} = 1,2 \times \left(\log 10^{-12} / \log 10^{-6} \right)^{1/2,5} - 1 = 0,58$$

4 Exemple 4 de la Méthode C

Nous reprenons l'exemple 3 de la Méthode C en supposant par ailleurs que la liaison montante n'acceptera aucun brouillage, c'est-à-dire que $I_1^{(u)} = I_2^{(u)} = I_3^{(u)} \approx 0$, ce qui, d'après l'expression (73a) correspond à $\bar{x}_1^{(u)} = \bar{x}_2^{(u)} = \bar{x}_3^{(u)} \approx 1/(1 + \alpha_0^{(u)}) = 1/1,2$ tout en répondant à l'expression (72). Il découle alors de l'expression (71) que $\bar{x}_i^{(d)} = 2 \times (\log TEB_0 / \log TEB_i)^{1/c_i} - 1/1,2$, $i = 1, 2, 3$. Ainsi, l'expression (70b) donne:
 $I_i^{(d)} / N_t^{(d)} = 2,4 \times (\log TEB_0 / \log TEB_i)^{1/c_i} - 2$. Plus précisément:

$$I_1^{(d)} / N_t^{(d)} = 2,4 \times \left(\log 10^{-12} / \log 10^{-10} \right)^{1/2,5} - 2 = 0,58$$

$$I_2^{(d)} / N_t^{(d)} = 2,4 \times \left(\log 10^{-12} / \log 10^{-8} \right)^{1/2,5} - 2 = 0,82$$

$$I_3^{(d)} / N_t^{(d)} = 2,4 \times \left(\log 10^{-12} / \log 10^{-6} \right)^{1/2,5} - 2 = 1,17$$

Par rapport à l'exemple 3 de la Méthode C, les limites de brouillage sur la liaison descendante sont beaucoup plus élevées puisqu'il n'y a pas de brouillage sur la liaison montante. Ainsi, un système à guide d'ondes coudé autorise de plus importants compromis de répartition de brouillage entre les composantes montante et descendante des liaisons, au prix d'une puissance d'émission beaucoup plus importante au niveau de la station au sol, par rapport à un système à démodulation-remodulation. On peut aussi considérer le problème différemment et dire que si les niveaux de brouillage sur la liaison descendante atteignent les valeurs précitées, aucun brouillage ne sera acceptable sur la liaison montante, même s'il s'agit d'un brouillage peu important!

5 Exemple 5 de la Méthode C

Soit une liaison de connexion SMS (montante ou descendante) caractérisée comme suit:

- a) $TEB_0 = 1 \times 10^{-12}$
 b) $TEB_1 = 1 \times 10^{-10}$, $TEB_2 = 1 \times 10^{-8}$, $TEB_3 = 1 \times 10^{-6}$
 $\bar{t}_1 = 1\%$, $\bar{t}_2 = 0,2\%$, $\bar{t}_3 = 0,02\%$
 c) $\alpha_0 \equiv I_0 / N_t = 0,2$.

On peut déterminer les limites de brouillage sur cette liaison de connexion à partir de l'expression (67a) ou de l'expression (67b), en ignorant les désignations u ou d , de sorte que les valeurs de ces paramètres rapportées au niveau de bruit correspondant à la liaison de connexion s'expriment comme suit (avec une fois encore, par hypothèse $c_i = 2,5$)

$$I_1/N_t = 1,2 \times \left(\log 10^{-12} / \log 10^{-10} \right)^{1/2,5} - 1 = 0,29$$

$$I_2/N_t = 1,2 \times \left(\log 10^{-12} / \log 10^{-8} \right)^{1/2,5} - 1 = 0,41$$

$$I_3/N_t = 1,2 \times \left(\log 10^{-12} / \log 10^{-6} \right)^{1/2,5} - 1 = 0,58$$

valeurs associées aux pourcentages respectifs de temps spécifiés au § b).

6 Exemple 6 de la Méthode C

Reprenons l'exemple 5 de la Méthode C, complété par les valeurs suivantes de $TEB \sim E_b/N_0$:

$$a) \quad TEB_0 = 1 \times 10^{-12} \quad \text{pour } x_0 = 9,0 \text{ dB}$$

$$b) \quad TEB_1 = 1 \times 10^{-10} \quad \text{pour } x_1 = 8,6 \text{ dB}$$

$$TEB_2 = 1 \times 10^{-8} \quad \text{pour } x_2 = 8,2 \text{ dB}$$

$$TEB_3 = 1 \times 10^{-6} \quad \text{pour } x_3 = 7,8 \text{ dB}$$

avec x_i , $i = 0, 1, 2, 3$, correspondant aux valeurs du rapport E_b/N_0 de la courbe représentative du $TEB \sim E_b/N_0$. Le paramètre c_i des expressions (67a) ou (67b) est ensuite déterminé à partir de l'expression (74) comme suit [on se rappellera que dans l'expression (74) les paramètres x_0 et x_i représentent les valeurs absolues du rapport E_b/N_0 , soit $10 \log (x_0/x_i) = x_0 \text{ (dB)} - x_i \text{ (dB)}$]:

$$c_1 = 10 \times \log \left(\log 10^{-12} / \log 10^{-10} \right) / (9,0 - 8,6) = 1,98$$

$$c_2 = 10 \times \log \left(\log 10^{-12} / \log 10^{-8} \right) / (9,0 - 8,2) = 2,20$$

$$c_3 = 10 \times \log \left(\log 10^{-12} / \log 10^{-6} \right) / (9,0 - 7,8) = 2,51$$

On utilise maintenant ces valeurs dans l'expression (67a) ou (67b) pour évaluer les limites de brouillage, comme suit:

$$I_1/N_t = 1,2 \times \left(\log 10^{-12} / \log 10^{-10} \right)^{1/1,98} - 1 = 0,32$$

$$I_2/N_t = 1,2 \times \left(\log 10^{-12} / \log 10^{-8} \right)^{1/2,20} - 1 = 0,44$$

$$I_3/N_t = 1,2 \times \left(\log 10^{-12} / \log 10^{-6} \right)^{1/2,51} - 1 = 0,58$$

APPENDICE 1

DE L'ANNEXE 1

Technique de calcul pour l'application de la Méthode A de l'Annexe 1

Le présent Appendice décrit une technique de calcul des marges de brouillage tolérables, faisant intervenir la Méthode A exposée à l'Annexe 1. Il s'agit de résoudre un problème d'optimisation non linéaire défini avec précision. On commence par représenter graphiquement les fonctions de densité de probabilité de certaines des variables. Plus précisément, on suppose que la dégradation due aux évanouissements et à d'autres variations temporelles des caractéristiques de la liaison ainsi que la dégradation due à chaque réseau brouilleur ont des fonctions de densité de probabilité que l'on peut approximer de façon satisfaisante par des fonctions en escalier. Il convient de noter que d'autres représentations graphiques pourraient également être utilisées.

Dans cette technique de calcul, on suppose que l'on peut représenter l'effet de la composante de brouillage émanant du i^{e} réseau par une augmentation de la puissance de bruit, qui passe de N_T à $Y_i N_T$. Ainsi, la dégradation y_i due au i^{e} réseau brouilleur (dB) s'écrit:

$$y_i = 10 \log Y_i \quad (75)$$

On suppose en outre que les fonctions de densité de probabilité des variables aléatoires x (voir l'équation (1) et y_i , avec $i = 1, \dots, N$) sont représentées graphiquement par des fonctions en escalier comme aux Fig. 17 et 18.

Comme l'expression $p_x(X)$ constitue l'une des données requises, les paramètres (β_m, e_m) avec $m = 1, \dots, M$ de la Fig. 17 sont supposés connus. Notons que β_0 peut être obtenu à partir de ces paramètres par la relation:

$$\beta_0 = 1 - \beta_1 - \sum_{m=2}^M \beta_m (e_{m-1} - e_m) \quad (76)$$

A la Fig. 18, on suppose que les paramètres d_k avec $k = 1, \dots, K$ sont connus, tandis que les valeurs des paramètres α_k avec $k = 1, \dots, K$ doivent être déterminées par résolution de l'ensemble d'inégalités de la phase 6 de la Méthode A de l'Annexe 1. La fonction $f(\alpha_1, \dots, \alpha_K)$ de la Fig. 18 est donnée par:

$$f(\alpha_1, \dots, \alpha_K) = 1 - \alpha_1 - \sum_{k=2}^K \alpha_k (d_{k-1} - d_k) \quad (77)$$

On détermine ensuite les paramètres $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_K$ en résolvant un problème d'optimisation non linéaire simple. Plus précisément, on se propose de déterminer les valeurs de $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_K$ en minimisant l'expression (77) avec les contraintes de l'équation (18), les paramètres $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_K$ et $f(\alpha_1, \dots, \alpha_K)$ restant tous, et dans tous les cas, positifs. En d'autres termes, on détermine les paramètres $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_K$ en minimisant l'expression (77) avec les contraintes suivantes:

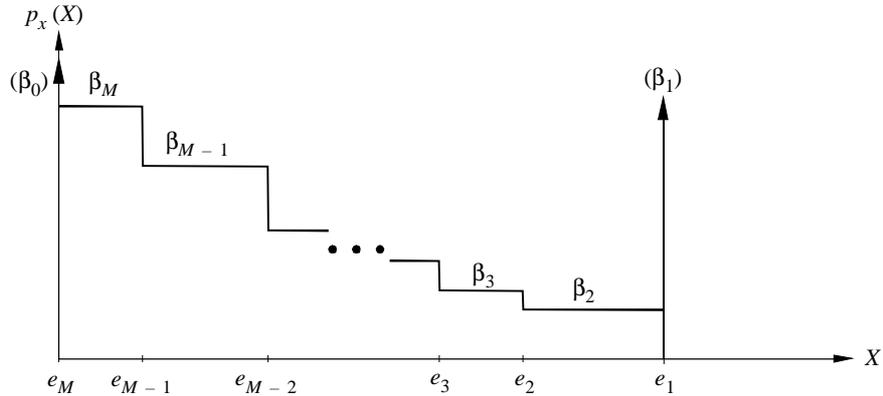
$$r_j(\alpha_1, \dots, \alpha_K) = P(z \geq z_j) \leq \frac{p_j}{100} \quad \text{pour } j = 1, \dots, J \quad (78)$$

$$f(\alpha_1, \dots, \alpha_K) \geq 0 \quad (79)$$

$$\alpha_k \geq 0 \quad \text{pour } k = 1, \dots, K \quad (80)$$

FIGURE 17

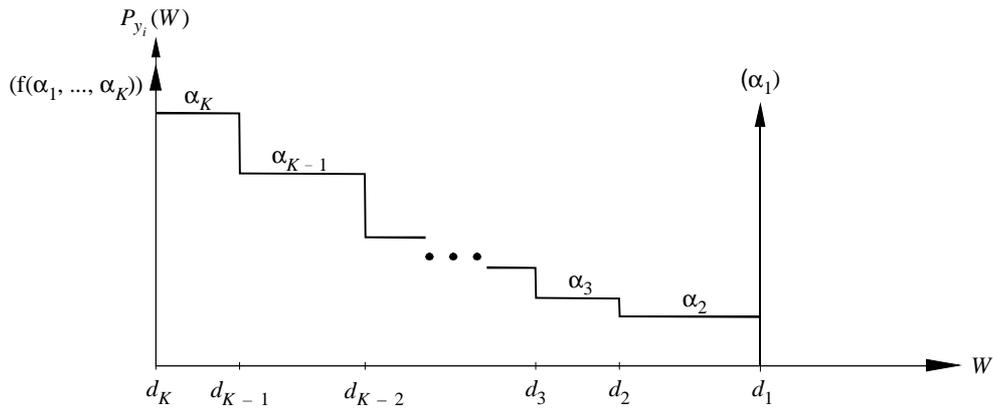
Fonction de densité de probabilité de la dégradation, x , due aux évanouissements et à d'autres variations temporelles des caractéristiques de la liaison – Représentation graphique



1323-17

FIGURE 18

Fonction de densité de probabilité de la dégradation, y_i , due au i^{e} réseau brouilleur – Représentation graphique



1323-18

La technique de calcul que nous venons de décrire a permis de déterminer les marges de brouillage tolérables de l'exemple 1 de la Méthode A (cas 1 et 2) de l'Annexe 1. Dans cet exemple, le problème d'optimisation non linéaire à résoudre consiste à minimiser l'expression:

$$f(\alpha_1, \alpha_2) = 1 - \alpha_1 - 2,5 \alpha_2 \tag{81}$$

avec les contraintes:

$$r_1(\alpha_1, \alpha_2) = P(z \geq 2,5) \leq 0,5/100 \tag{82}$$

$$r_2(\alpha_1, \alpha_2) = P(z \geq 1,5) \leq 1,0/100 \tag{83}$$

$$f(\alpha_1, \alpha_2) \geq 0 \tag{84}$$

$$\alpha_k \geq 0 \quad \text{pour } k = 1, 2 \tag{85}$$

En considérant l'expression (82) on peut exprimer la contrainte (83) par l'approximation suivante:

$$r_2(\alpha_1, \alpha_2) - r_1(\alpha_1, \alpha_2) = P(1,5 \geq z \geq 2,5) \leq 0,005 \tag{86}$$

Dans le cas 1 de l'exemple 1 de la Méthode A, où l'on ne considère qu'un seul réseau brouilleur ($N = 1$), les contraintes (82), (86), (84) et (85) deviennent respectivement, après quelques calculs:

$$1,991 \alpha_1 + 0,01375 \alpha_2 \leq 0,001 \tag{87}$$

$$-0,0275 \alpha_1 + 12,36125 \alpha_2 \leq 0,035 \tag{88}$$

$$1 - \alpha_1 - 2,5 \alpha_2 \geq 0 \tag{89}$$

$$\alpha_k \geq 0 \quad \text{pour } k = 1, 2 \tag{90}$$

La solution de ce problème d'optimisation (linéaire en l'occurrence) est illustrée par la Fig. 19, dans laquelle les contraintes 1 et 2 correspondent respectivement aux conditions (87) et (88). Cette Figure donne également les contours de valeur constante de $f(\alpha_1, \alpha_2)$. La technique de calcul proposée donne la solution représentée par le point A ($\alpha_1 = 0,0004827$, $\alpha_2 = 0,0028325$). Les gabarits de marge de brouillage associés à cette solution sont représentés par les équations (24) à (29).

Dans le cas 2 de l'exemple 1 de la Méthode A, dans lequel on considère deux réseaux brouilleurs ($N = 2$), les fonctions $r_1(\alpha_1, \alpha_2)$ et $r_2(\alpha_1, \alpha_2)$ qui apparaissent dans les contraintes (82) et (86) ne sont pas linéaires. Leur calcul, à l'aide de la Méthode A de l'Annexe 1, n'est pas simple et nécessite certaines opérations informatiques. La solution de ce problème d'optimisation non linéaire peut être obtenue à l'aide de techniques classiques de programmation non linéaire. La Fig. 20 illustre la solution optimale de ce problème. En l'occurrence, les contraintes 1 et 2 correspondent respectivement aux conditions (82) et (86). La Figure montre également les contours de valeur constante de $f(\alpha_1, \alpha_2)$. La technique de calcul proposée donne la solution représentée par le point A ($\alpha_1 = 0,0002388$, $\alpha_2 = 0,00142239$). Les gabarits de marge de brouillage associés à cette solution sont représentés par les équations (30) à (35).

FIGURE 19
Solutions de α_1 et α_2 , dans l'exemple 1 de la Méthode A (Cas 1)

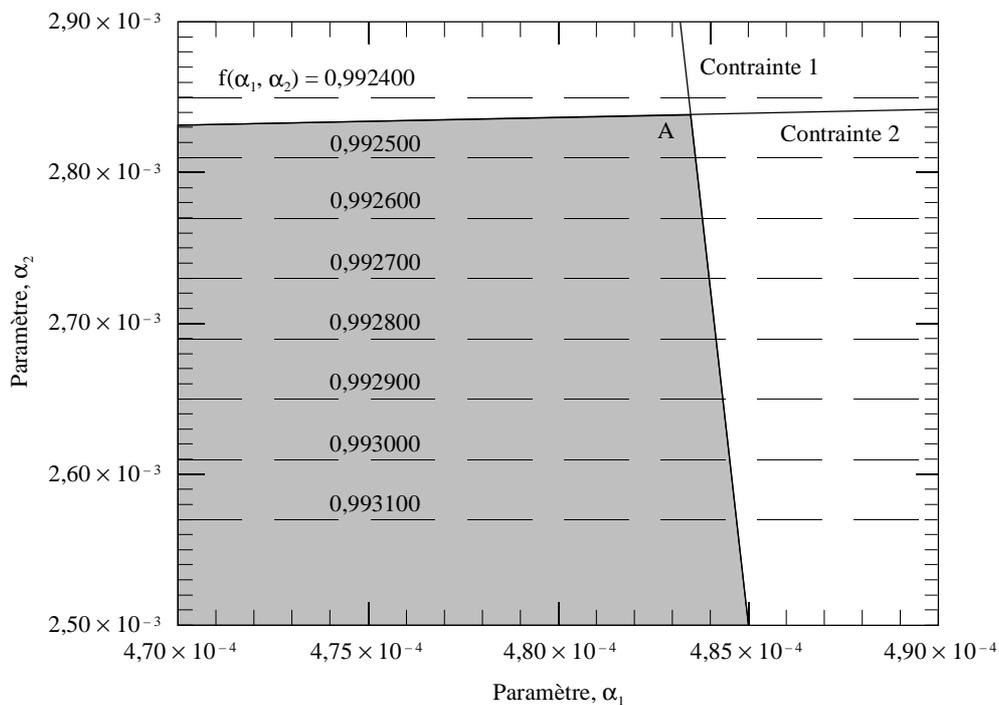
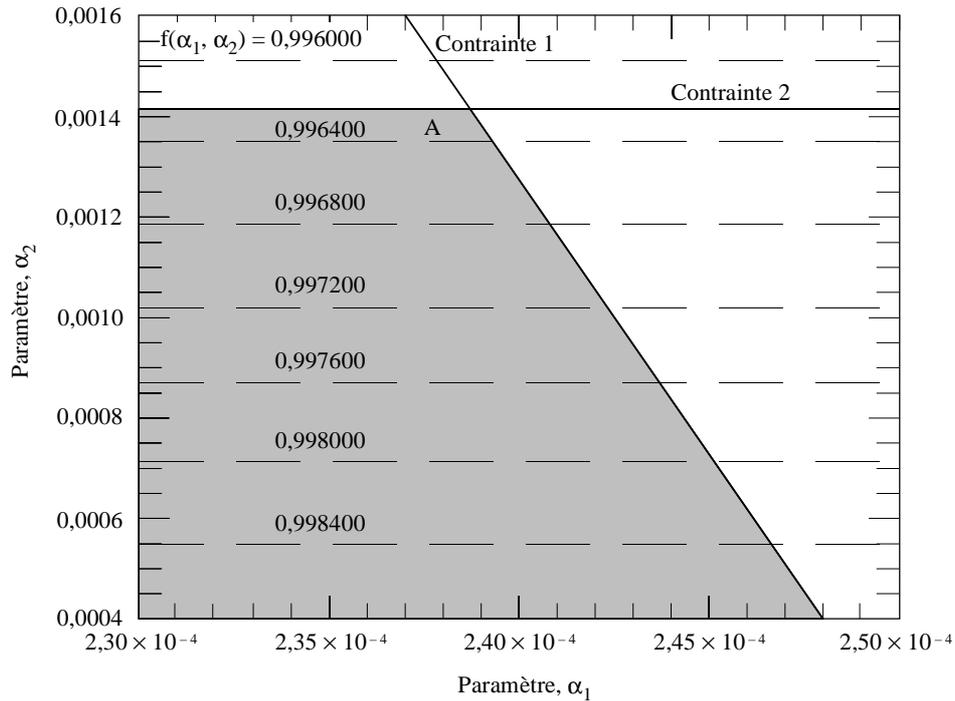


FIGURE 20
Solutions de α_1 et α_2 , dans l'exemple 1 de la Méthode A (Cas 2)



1323-20

APPENDICE 2
DE L'ANNEXE 1

Calcul des équations de brouillage pour la Méthode C de l'Annexe 1

On peut représenter de façon très satisfaisante une liaison de satellite SFS exploitée dans les bandes 20/30 GHz par un canal de bruit gaussien blanc additif dont le fonctionnement peut être ensuite modélisé par l'expression suivante:

$$TEB \approx a \exp(-bx^c), \quad x = E_b / (N_t + I_t) \tag{91}$$

Ici, E_b représente l'énergie du signal conventionnel par bit d'information, tandis que N_t et I_t sont respectivement la densité spectrale du bruit thermique total et la densité spectrale du brouillage aux bornes du récepteur de la liaison. Par ailleurs, a est une constante voisine de l'unité, tandis que b et c dépendent des systèmes de modulation et de codage utilisés sur la liaison. Comme on le constatera plus loin, b s'annule dans le calcul. On montre par ailleurs que c peut être calculé à l'aide de l'équation (74).

Du fait que $a \approx 1$, on déduit de l'expression (91) que:

$$x^c \approx - (\ln TEB) / b \tag{92}$$

ce qui donne:

$$\bar{x}_i \equiv x_0 / x_i = (\log TEB_0 / \log TEB_i)^{1/c_i} \tag{93}$$

où, c s'écrit c_i puisque cette variable représente la pente d'une partie de la courbe représentative du TEB en fonction de x sur une échelle logarithmique étendue, pente qui dépend légèrement du lieu du point représenté par la notation indiciaire i , si l'on suppose que le point correspondant à l'indice 0 est un point de référence commun. L'expression (93) équivaut à l'équation (74).

Dans le cas d'un satellite SFS à démodulation-remodulation, la liaison montante et la liaison descendante sont toutes deux équipées d'un récepteur numérique et on peut leur appliquer l'expression (93), avec le TEB de la liaison par satellite donné par la somme des TEB observés sur la composante montante ou sur la composante descendante seule lorsque leurs valeurs sont peu importantes ($< 1 \times 10^{-3}$). En établissant les correspondances nécessaires entre les valeurs quantifiées et les liaisons, on obtient:

$$\bar{x}_i^{(l)} \equiv x_0^{(l)} / x_i^{(l)} = \left(N_t^{(l)} + I_i^{(l)} \right) / \left(N_t^{(l)} + I_0^{(l)} \right) = \left(1 + \alpha_i^{(l)} \right) / \left(1 + \alpha_0^{(l)} \right), \quad l = u, d \quad (94)$$

Comme $l = u, d$ renvoie respectivement à la composante montante et à la composante descendante, on obtient les deux équations d'une configuration avec démodulation-remodulation.

Pour un satellite du SFS à guide d'ondes coudé, en revanche, le bruit et le brouillage s'accroissent dans l'ensemble du système selon la classique relation porteuse/bruit,

$$1 / y = 1 / y^{(u)} + 1 / y^{(d)} \quad (95)$$

dans laquelle y est le rapport de la puissance de la porteuse à la somme des puissances de bruit et des puissances brouilleuses observées sur l'ensemble de la liaison, tandis que $y^{(u)}$ et $y^{(d)}$ sont associés respectivement à la seule composante montante et à la seule composante descendante. Avec les niveaux de brouillage sur composante montante et sur composante descendante spécifiés aux § c) et e) de la Méthode C, on peut réécrire l'expression (95) comme suit:

$$1 / y_0 = 1 / y_0^{(u)} + 1 / y_0^{(d)} = 1 / y_0^{(u)} + \bar{y}_{ud} / y_0^{(u)}, \quad \bar{y}_{ud} = y_0^{(u)} / y_0^{(d)} \quad (96)$$

ou encore:

$$y_0^{(u)} / y_0 = 1 + \bar{y}_{ud} \quad (97)$$

Par ailleurs, avec les niveaux de brouillage ainsi déterminés, l'expression (95) devient:

$$1 / y_i = 1 / y_i^{(u)} + 1 / y_i^{(d)} \quad (98)$$

Du fait que:

$$\bar{x}_i \equiv x_0 / x_i = y_0 / y_i \quad (99)$$

$$\bar{x}_i^{(l)} \equiv y_0^{(l)} / y_i^{(l)} = \left(N_t^{(l)} + I_i^{(l)} \right) / \left(N_t^{(l)} + I_0^{(l)} \right) = \left(1 + \alpha_i^{(l)} \right) / \left(1 + \alpha_0^{(l)} \right), \quad l = u, d \quad (100)$$

ici encore, $l = u, d$ renvoie respectivement à la liaison montante et à la liaison descendante; il découle de l'expression (98) que:

$$\bar{x}_i / y_0 = \bar{x}_i^{(u)} / y_0^{(u)} + \bar{x}_i^{(d)} / y_0^{(d)} \quad (101)$$

que l'on peut ramener, avec l'aide des expressions (96) et (97) à:

$$\bar{x}_i^{(u)} + \bar{y}_{ud} \bar{x}_i^{(d)} = \left(1 + \bar{y}_{ud} \right) \bar{x}_i \quad (102)$$

Il est évident que l'expression (100) donne les deux premières équations applicables à une configuration avec guide d'ondes coudé, tandis que les contraintes qui suivent résultent de l'expression (102) (on se rappellera que l'expression (93) s'applique au récepteur numérique de l'ensemble de la liaison par satellite).