

RECOMMANDATION UIT-R S.1323-2

Niveaux maximaux admissibles de brouillage dans un réseau à satellite (OSG du SFS; non OSG du SFS; liaisons de connexion non OSG du SMS)* occasionnés dans le service fixe par satellite par d'autres réseaux du SFS exploités dans le même sens de transmission, au-dessous de 30 GHz

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

(1997-2000-2002)

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 satellite (OSG du SFS; non OSG du SFS; liaisons de connexion non OSG du SMS) 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 et les opérateurs des systèmes doivent maîtriser le fonctionnement du réseau dans son ensemble et avoir la possibilité de proposer la qualité de service requise;
- c) que tout réseau du SFS (OSG du SFS; non OSG du SFS; liaisons de connexion non OSG du SMS) doit être protégé des brouillages occasionnés par d'autres réseaux de même type et que l'inclusion d'une marge de liaison additionnelle s'ajoutant à celle qui est nécessaire pour compenser les évanouissements dus à la pluie, par exemple pour compenser les effets du vieillissement des équipements, ne doit pas être considérée comme faisant partie de cette protection;
- d) que les numéros 5.441, 5.484A, 5.487A et 5.516 de l'Article 5 du Règlement des radiocommunications (RR) disposent que dans certaines bandes de fréquences, «les systèmes à satellites non géostationnaires du service fixe par satellite ne doivent pas demander à être protégés vis-à-vis des réseaux à satellite géostationnaire du service fixe par satellite fonctionnant conformément au Règlement des radiocommunications, quelles que soient les dates de réception, par le Bureau, des renseignements complets de coordination ou de notification, selon le cas, pour les systèmes non géostationnaires du service fixe par satellite et des renseignements complets de coordination ou de notification, selon le cas, pour les réseaux à satellite géostationnaire. Les dispositions du numéro 5.43A ne sont pas applicables»;
- e) que, dans les bandes de fréquences spécifiées au numéro 22.5I du RR, les limites indiquées s'appliquent aux systèmes non OSG du SFS;
- f) 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;

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

- g) 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 et que ce brouillage à source unique puisse permettre la prise en compte d'un nombre approprié de systèmes brouilleurs;
- h) que, dans les bandes de fréquences supérieures à 10 GHz, où l'on peut observer pendant de brèves périodes de très importants affaiblissements des signaux, il peut être souhaitable de doter les équipements d'un système de compensation des évanouissements;
- j) que, dans des configurations de brouillage faisant intervenir des systèmes non OSG, les réseaux du SFS (OSG du SFS; non OSG du SFS; liaisons de connexion non OSG du SMS) 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;
- k) que la marge du brouillage à long terme causé par des systèmes non OSG à des systèmes OSG du SFS ne doit représenter qu'un faible pourcentage de la marge existante du brouillage à long terme causé à un réseau OSG du SFS, et qu'elle s'ajoute à ladite marge;
- l) que, s'ils ne sont pas limités, les phénomènes de brouillage à court terme peuvent entraîner une perte de synchronisation ou avoir d'autres conséquences déstabilisantes pouvant se traduire, même par ciel clair, par une dégradation ou une interruption du service pendant des périodes plus longues que le phénomène de brouillage proprement dit;
- m) 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;
- n) que l'effet du brouillage causé par des systèmes non OSG à des systèmes OSG utilisant le codage adaptatif sur la liaison descendante est différent des effets dus à la pluie, et que les études effectuées jusqu'à présent indiquent que ces effets de brouillage non OSG doivent être considérés au moins faisceau par faisceau (dans le système OSG) plutôt que liaison par liaison;
- o) que les effets dus à la propagation ne doivent pas représenter plus de 90% de l'indisponibilité d'une liaison du SFS,

recommande

1 de faire en sorte que les réseaux OSG du SFS exploités dans les bandes de fréquences inférieures à 30 GHz soient conçus et exploités de façon que, quelle que soit la liaison par satellite considérée, les objectifs de qualité de fonctionnement 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 OSG du SFS 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 totale de bruit 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 OSG du SFS du type mentionné au *recommande 1*, les brouillages inter-réseaux résultant des émissions des stations terriennes et des stations spatiales de tout autre réseau OSG du SFS 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 OSG du SFS, les brouillages inter-réseaux résultant des émissions des stations terriennes et des stations spatiales de tous les autres réseaux à satellite exploités dans la même ou dans les mêmes bandes de fréquences et susceptibles de causer des brouillages variables dans le temps:

3.1 ne soient pas à l'origine de plus de 10% de la marge temporelle applicable au TEB (ou au rapport C/N), spécifiée comme objectif de qualité de fonctionnement à court terme du réseau utile et correspondant au plus petit pourcentage de temps (plus petite valeur de C/N);

3.2 dans le cas de réseaux utilisant le codage adaptatif, ne soient pas à l'origine d'une diminution de plus de 10% de la capacité de réserve des liaisons nécessitant un codage plus lourd pour compenser les évanouissements dus à la pluie, dans l'hypothèse où le réseau conserve, avec l'utilisation de cette capacité de réserve, le même niveau de qualité de fonctionnement qu'il avait en l'absence de brouillage variable dans le temps. Des études complémentaires sont nécessaires pour les bandes autres que 30/20 GHz;

4 que les systèmes non OSG du SFS fonctionnant dans les bandes de fréquences visées par les numéros 5.441, 5.484A, 5.487A et 5.516 du RR devraient comporter dans leur bilan de brouillage, à titre indicatif seulement, une augmentation de 10% de la marge temporelle applicable au TEB (ou au rapport C/N) spécifiée dans les objectifs de qualité de fonctionnement à court terme du réseau utile et correspondant au plus petit pourcentage de temps (plus petite valeur de C/N) causé par l'ensemble des émissions des stations terriennes et spatiales de tous les réseaux OSG du SFS;

5 que, dans le cas d'un réseau non OSG (SFS non OSG et liaisons de connexion du SMS non OSG) fonctionnant dans les bandes de fréquences visées par le numéro 9.11A du RR (qui n'est pas assujéti aux limites imposées par les numéros 22.5C, 22.5D et 22.5F du RR), le brouillage inter-réseaux causé par l'ensemble des émissions des stations terriennes et spatiales de tous les réseaux OSG du SFS fonctionnant dans la même bande de fréquences:

5.1 ne soit pas à l'origine de plus de 10% de la marge temporelle applicable au TEB (ou à la valeur C/N) spécifiée comme objectif de qualité de fonctionnement à court terme du réseau utile et correspondant au plus petit pourcentage de temps (plus petite valeur de C/N);

5.2 dans le cas de réseaux utilisant le codage adaptatif, ne soit pas à l'origine, à titre provisoire (jusqu'à réexamen après études ultérieures), d'une diminution de plus de 10% de la capacité de réserve des liaisons nécessitant un codage plus lourd pour compenser les évanouissements dus à la pluie, dans l'hypothèse où le réseau conserve, avec l'utilisation de cette capacité de réserve, le même niveau de qualité de fonctionnement que celui qu'il avait en l'absence de brouillage variable dans le temps. Des études complémentaires sont nécessaires pour valider cette approche dans le cas de brouillage par d'autres systèmes non OSG;

6 que, dans le cas d'un réseau non OSG (SFS non OSG et liaisons de connexion du SMS non OSG), les brouillages inter-réseaux causés par l'ensemble des émissions des stations terriennes et spatiales de tous les autres réseaux à satellite non OSG fonctionnant dans la même bande de fréquences:

6.1 ne soient pas à l'origine de plus de 10% de la marge temporelle applicable au TEB (ou au rapport C/N) spécifiée comme objectif de qualité de fonctionnement à court terme du réseau utile et correspondant au plus petit pourcentage de temps (plus petite valeur de C/N);

6.2 dans le cas de réseaux utilisant le codage adaptatif, ne soient pas à l'origine (jusqu'à réexamen après études ultérieures) d'une diminution de plus de 10% de la capacité de réserve des liaisons nécessitant un codage plus lourd pour compenser les évanouissements dus à la pluie, dans

l'hypothèse où le réseau conserve, avec l'utilisation de cette capacité de réserve, le même niveau de qualité de fonctionnement que celui qu'il avait en l'absence de brouillage variable dans le temps. Des études complémentaires sont nécessaires pour valider cette approche;

7 que, dans l'application des Méthodes A et A' décrites dans l'Annexe 1 ou de la Procédure D décrite dans l'Annexe 2, il ne soit pas nécessaire de définir une marge à long terme; en effet, étant donné qu'on prend en compte les effets simultanés des évanouissements et des brouillages, les conditions énoncées aux *recommande* 3, 4, 5 et 6 permettent de caractériser complètement le gabarit des brouillages;

8 que, dans l'application de la Méthode B décrite dans l'Annexe 1, on définisse également une marge à long terme parce que les effets simultanés des évanouissements et des brouillages ne sont pas pris en compte;

9 que cette marge correspondant aux brouillages à long terme, lorsqu'elle est utilisée en plus des spécifications des *recommande* 3, 4, 5 et 6 soit exprimée compte tenu de la condition que la totalité des brouillages ne dépasse pas 6% de la puissance totale de bruit du système pendant plus de 10% du temps;

10 que, pour vérifier si les brouillages inter-réseaux résultant des émissions des stations terriennes et des stations spatiales d'un réseau à satellite donné satisfont aux conditions des *recommande* 3, 4, 5 et 6 (et, le cas échéant du *recommande* 9) ou aux conditions d'élaboration d'un gabarit de brouillage (niveaux de brouillage et pourcentages de temps maximaux pendant lesquels ces niveaux pourraient être dépassés) permettant de satisfaire aux spécifications des *recommande* 3, 4, 5 et 6 (et, le cas échéant, du *recommande* 9), on puisse appliquer les méthodes décrites dans les Annexes 1 et 2, en relation avec un nombre supposé, approprié, de réseaux brouilleurs;

11 que le niveau maximal de puissance de bruit brouilleuse occasionné à un réseau OSG du SFS 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:

$$\begin{array}{lll} G = 32 - 25 \log \varphi & \text{dBi} & \text{pour } 1^\circ \leq \varphi < 48^\circ \\ G = -10 & \text{dBi} & \text{pour } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{array}$$

Brouillages non OSG-OSG, les diagrammes d'antenne décrits dans la Recommandation UIT-R S.1428;

12 de considérer les Notes suivantes comme faisant partie intégrante de la présente Recommandation.

NOTE 1 – Dans le cas des brouillages entre réseaux OSG du SFS, les dispositions des *recommande* 1 et 2 s'appliquent mais celles du *recommande* 3 ne s'appliquent pas.

NOTE 2 – Dans le *recommande* 3 l'expression «brouillage variable dans le temps» inclut la composante constante qui peut être présente en permanence.

NOTE 3 – Dans le calcul des limites dont il est question aux *recommande* 1.1, 1.2, 2, 3, 4, 5, 6 et 9, 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 de la qualité de fonctionnement exprimée en TEB (ou en rapport C/N).

NOTE 4 – Pour le calcul du brouillage, conformément aux *recommande* 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 9, et dans le cas de réseaux à satellite 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 5 – En ce qui concerne les *recommande* 1 et 2, on supposera que le brouillage provenant des autres réseaux à satellite 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 6 – Dans les études techniques, lorsque les signaux brouilleurs sont caractérisés par une distribution spectrale non uniforme, pour des objectifs de conception, une partie plus importante du bruit total du système pourra être attribué aux porteuses à largeur de bande réduite. 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 7 – 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 8 – 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 9 – Il sera nécessaire de déterminer les possibilités d'accepter un relèvement des valeurs maximales totales de bruit brouilleur recommandées au *recommande* 1.

NOTE 10 – 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 11 – Il est nécessaire de poursuivre l'étude des marges attribuées aux brouillages 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 ou de codage adaptatif utilisés pour compenser les évanouissements.

NOTE 12 – Pour des raisons d'efficacité d'utilisation de l'orbite, les réseaux à satellite exploités dans des zones climatiques caractérisées par de fortes précipitations devraient être dotés d'un système de compensation des évanouissements.

NOTE 13 – Dans certaines bandes, les limites de densité de puissance isotrope rayonnée équivalente (p.i.r.e.) en dehors de l'axe du faisceau principal énoncées dans la Section VI de l'Article 22 du RR peuvent être utilisées pour évaluer le niveau probable de brouillage produit par les réseaux OSG du SFS. Toutefois, ces limites ne s'appliquent pas aux antennes de stations terriennes en service ou susceptibles d'être mises en service avant le 2 juin 2000, ni aux stations terriennes associées à un réseau à satellite du SFS pour lequel les renseignements de coordination ou de notification complets ont été reçus avant le 2 juin 2000.

ANNEXE 1

Méthodes permettant de déterminer si le brouillage causé à un réseau du SFS (SFS OSG, SFS non OSG; liaisons de connexion SMS non OSG) satisfait aux dispositions des *recommande 3, 4, 5 et 6* (et, le cas échéant du *recommande 9*), ou de calculer les marges de brouillage qui satisferaient aux dispositions des *recommande 3, 4, 5 et 6* (et, le cas échéant, du *recommande 9*)

La présente Annexe décrit trois méthodes pour vérifier si le brouillage satisfait aux spécifications des *recommande 3, 4, 5 et 6* (et, le cas échéant, du *recommande 9*) ou pour le calcul des marges de brouillage qui satisferaient aux spécifications des *recommande 3, 4, 5 et 6* (et, le cas échéant du *recommande 9*). Ces méthodes sont dénommées respectivement A, A' et B. Leur application dans le cas d'un brouillage causé par un réseau individuel (brouillage par source unique) nécessite que l'on répartisse la marge de brouillage totale des *recommande 3, 4, 5 et 6* entre les réseaux brouilleurs. La détermination du nombre des systèmes brouilleurs sort du cadre de la présente Recommandation.

Dans les Méthodes A et A', on considère les effets simultanés dus aux évanouissements et aux brouillages. La vérification de la conformité aux *recommande 3, 4, 5 et 6* ou 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. La Méthode A' est un cas particulier de la Méthode A car on y prend comme hypothèse des modèles graphiques particuliers pour les fonctions de densité de probabilité des dégradations dues aux évanouissements et aux brouillages. Dans la Méthode A, la représentation graphique de ces fonctions de densité de probabilité reste non définie; elle peut être choisie de manière à obtenir un ajustement optimum à la situation particulière considérée.

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 ou de codage adaptatif, les effets simultanés des évanouissements et des brouillages sont moins importants et peuvent être négligés lorsque l'opérateur du système affecté le souhaite. La Méthode B traite précisément de cette possibilité (cette méthode traite 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.

On trouvera dans l'Annexe 2 la description d'une procédure qui permet de vérifier la conformité aux spécifications du *recommande 3.1* et d'afficher le gabarit de brouillage. Cette procédure permet de faire cette vérification pour des gabarits de brouillage calculés selon l'une quelconque des méthodes décrites dans l'Annexe 1.

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 qui permet de vérifier si le brouillage satisfait aux spécifications des *recommande* 3, 4, 5 et 6 ou de calculer les marges de brouillage associées à une porteuse utile donnée qui satisferait à ces mêmes spécifications; 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.

Pour une porteuse donnée, le rapport total C/N a pour expression:

$$C/N = C/(N_T + I)$$

où:

C : puissance utile (W), qui varie en fonction des évanouissements présents sur les liaisons montante et descendante et également en fonction de la configuration de la transmission (accès multiple, utilisation d'une régulation de puissance sur la liaison montante, etc.). On peut dire, par conséquent, que C est une fonction de A_{\uparrow} , affaiblissement dû à la pluie sur la liaison montante, et de A_{\downarrow} , affaiblissement dû à la pluie sur la liaison descendante:

$$C = C_{cs} / F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$$

C_{cs} : puissance utile par ciel clair (à long terme)

N_T : bruit total du système (W) (à savoir: la puissance thermique incluant les contributions des liaisons montante et descendante à l'entrée du démodulateur, la puissance de bruit résultant du fonctionnement en multiporteuse de l'amplificateur de puissance concerné – dans les stations terriennes et les stations spatiales – le rapport d'isolation entre polarisations des différentes antennes d'émission et de réception, l'augmentation de puissance thermique due aux évanouissements causés par la pluie, la température solaire (et, le cas échéant) celle de la lune, qui varie aussi en fonction de la configuration de transmission et en fonction des évanouissements sur les liaisons montante et descendante: N_T contient aussi les contributions à long terme d'autres réseaux. On peut dire, par conséquent, que N_T est une fonction de A_{\uparrow} et de A_{\downarrow} :

$$N_T = N_{T,cs} \cdot G(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$$

$N_{T,cs}$: puissance de bruit par ciel clair (à long terme) (W)

I : puissance brouilleuse (W) variable dans le temps, générée par d'autres réseaux.

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 due aux évanouissements A_{\uparrow} sur la liaison montante et aux évanouissements A_{\downarrow} sur la liaison descendante, c'est-à-dire $F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$, ainsi que l'augmentation du bruit: $G(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$, en remplaçant C par le rapport C/X , avec $X = H(A_{\uparrow}, A_{\downarrow}) = F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow}) \cdot G(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$. La dégradation correspondante x (dB) s'écrit alors:

$$x = 10 \log X = 10 \log (H(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})) \quad (1)$$

On peut maintenant représenter l'effet du brouillage en relevant la puissance de bruit de N_T à YN_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.

Pour pouvoir calculer la fonction de densité de probabilité de la dégradation x , il faut identifier, avant d'appliquer cette méthode, les paramètres exacts des porteuses du réseau considéré ainsi que les paramètres qui sont nécessaires pour calculer les évanouissements présents sur les liaisons montante et descendante, ainsi que les fonctions réduction de puissance et augmentation du bruit (F et G).

Hypothèse 3: On obtient les marges temporelles pour chaque source de brouillage en divisant par N les marges temporelles associées au brouillage total. Ce nombre N , qui est lié au nombre de réseaux susceptibles de causer des brouillages variables dans le temps, sera appelé nombre équivalent de réseaux. N peut aussi varier avec le pourcentage de temps considéré.

Hypothèse 4: Cette analyse suppose que, pendant un évanouissement, la porteuse utile est affaiblie mais que la porteuse brouilleuse ne l'est pas. Cette hypothèse entraîne une certaine surestimation de la dégradation totale sur la liaison descendante lorsqu'il y a simultanéité entre les crêtes de brouillage et les évanouissements sur la liaison descendante.

2 Données

Pour vérifier la conformité aux spécifications des *recommande 3, 4, 5 et 6* ou pour déterminer les marges de brouillage qui satisferaient aux spécifications des *recommande 3, 4, 5 et 6* 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 en a) ci-dessus). 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 (6), qui exprime cette condition).
- d) Le nombre équivalent N de réseaux brouilleurs pouvant être à l'origine de brouillages variables dans le temps et partageant la même bande de fréquences avec le réseau utile. Pour un réseau utile SFS OSG, N est relié au nombre de systèmes non OSG qui partagent la même bande de fréquences. Pour un réseau utile non OSG, N est relié 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.

Par ailleurs, pour vérifier la conformité, il faut connaître la fonction de densité de probabilité $p_y(Y)$ de la dégradation due aux brouillages. Il est possible de calculer cette fonction en appliquant l'une quelconque des méthodes décrites dans la présente Recommandation ou, en fait, en ayant recours à tout autre moyen jugé adéquat.

3 Procédure proposée

3.1 Vérification de la conformité aux spécifications des *recommande 3, 4, 5 et 6*

Pour vérifier la conformité aux spécifications des *recommande 3, 4, 5 et 6* il faut calculer la fonction de densité de probabilité $p_z(Z)$ de la dégradation totale, qui a pour expression:

$$p_z(Z) = p_x p_y(Z) \quad (4a)$$

où $p_x(X)$ et $p_y(Y)$ figuraient parmi les données. Les conditions à vérifier sont les suivantes:

$$P(z \geq z_j) \leq (0,9 + 0,1 / N) p_j / 100 \quad \text{pour } j = 1, \dots, J \quad (4b)$$

On trouvera dans l'Annexe 2 la description de procédures détaillées qui permettent de vérifier cette conformité aux spécifications des *recommande 3, 4, 5 et 6* avec des exemples d'application de ces procédures.

3.2 Calcul des marges de brouillage

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_i de la dégradation totale z pouvant être dépassées au plus pendant $p_i\%$ de l'année à partir de l'équation suivante:

$$z_j = (C/N)_{cs} - (C/N)_j \quad \text{pour } j = 1, \dots, J \quad (5)$$

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

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

Etape 2: On choisit pour la fonction de densité de probabilité $p_y(Y)$ une représentation graphique de la dégradation due aux brouillages. 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 $p_y(Y)$, et d'autre part à conserver des calculs suffisamment simples. La représentation dépendra d'un certain nombre K de paramètres α_k ($k = 1, \dots, K$):

$$p_y(Y) = f(Y, \alpha_1, \dots, \alpha_K) \quad (7)$$

Etape 3: On établit une représentation graphique de la dégradation totale z à partir de l'expression:

$$p_z(Z) = p_x * p_y(Z) \quad (8)$$

dans laquelle l'expression $p_x(X)$ est reprise des données du c) et $p_y(Y)$ a été défini dans l'étape 2. Comme $p_y(Y)$ dépend des paramètres $\alpha_1, \dots, \alpha_K$, selon l'équation (7), il en est de même de $p_z(Z)$. La fonction peut donc s'écrire comme suit:

$$p_z(Z) = h(Z, \alpha_1, \dots, \alpha_K) \quad (9)$$

Etape 4: A partir de l'équation (9), on peut calculer la probabilité de dépassement de chacune des valeurs z_j obtenues dans l'Etape 1 par la dégradation totale z . Chacune de ces probabilités est fonction des paramètres $\alpha_1, \dots, \alpha_K$, et peut s'écrire:

$$P(z \geq z_j) = r_j(\alpha_1, \dots, \alpha_K) \quad \text{pour } j = 1, \dots, J \quad (10)$$

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

$$r_j(\alpha_1, \dots, \alpha_K) \leq (0,9 + 0,1 / N) p_j / 100 \quad \text{pour } j = 1, \dots, J \quad (11)$$

dans lesquelles les valeurs de p_i sont les valeurs du a) des données associées aux dégradations z_i calculées dans l'Etape 1 et n désigne le nombre de sources de brouillage.

Etape 5: A partir des paramètres $\alpha_1, \dots, \alpha_K$, calculés dans l'Etape 4, on établit la fonction de densité de probabilité de y , telle que définie par l'équation (7). 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:

$$P(y \geq Y_m) \leq q_m \quad (12)$$

on a:

$$P(I \geq (10^{Y_m/10} - 1) N_T) \leq q_m \quad (13)$$

A partir de l'expression $p_y(Y)$, on peut calculer un certain nombre M de couples $((10^{Y_m/10} - 1) N_T, q_m)$ et donc définir un gabarit pour les marges de brouillage dans le cas d'un seul réseau brouilleur.

4 Brouillages causés à des systèmes utilisant des répéteurs transparents: effets conjoints des évanouissements et des brouillages présents sur les liaisons montante et descendante

Soit X_{\uparrow} la dégradation de C/N due aux évanouissements sur la liaison montante et soit X_{\downarrow} la dégradation de C/N due aux évanouissements sur la liaison descendante. En règle générale, on égalera X_{\uparrow} à l'affaiblissement dû à la pluie, tandis que X_{\downarrow} inclura également les effets produits par l'élévation de la température de bruit à la réception.

Soient N_{\uparrow} et N_{\downarrow} les bruits totaux par ciel clair respectivement sur la liaison montante et sur la liaison descendante, et soient I_{\uparrow} et I_{\downarrow} les brouillages variables dans le temps respectivement sur ces deux liaisons. Avec ces notations, le rapport C/N par ciel clair et en l'absence de tout brouillage variable dans le temps s'écrit:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{cs} = \frac{C}{N_{\uparrow} + N_{\downarrow}} \quad (14)$$

et le rapport C/N en présence d'évanouissements et de brouillage sur les deux liaisons s'écrit:

$$\left(\frac{C}{N}\right) = \frac{1}{\frac{X_{\uparrow}(N_{\uparrow} + I_{\uparrow})}{C} + \frac{X_{\uparrow}X_{\downarrow}(N_{\downarrow} + I_{\downarrow})}{C}} \quad (15)$$

Cela étant, on a l'expression suivante pour la dégradation due aux évanouissements et aux brouillages sur les liaisons montante et descendante:

$$Z = aX_{\uparrow}\left(1 + \frac{I_{\uparrow}}{N_{\uparrow}}\right) + (1 - a)X_{\uparrow}X_{\downarrow}\left(1 + \frac{I_{\downarrow}}{N_{\downarrow}}\right) = X_{\uparrow}[aY_{\uparrow} + (1 - a)X_{\downarrow}Y_{\downarrow}] \quad (16)$$

où:

$$Y_{\uparrow} = 1 + \frac{I_{\uparrow}}{N_{\uparrow}} \quad (17)$$

désigne la dégradation de C/N sur la liaison montante par ciel clair due aux brouillages présents sur cette liaison,

$$Y_{\downarrow} = 1 + \frac{I_{\downarrow}}{N_{\downarrow}} \quad (18)$$

désigne la dégradation de C/N sur la liaison descendante par ciel clair due aux brouillages présents sur cette liaison, et

$$a = \frac{N_{\uparrow}}{N_{\uparrow} + N_{\downarrow}} \quad (19)$$

Si l'on pose:

$$V = aY_{\uparrow} + (1 - a)Z_{\downarrow} \quad (20)$$

où:

$$Z_{\downarrow} = X_{\downarrow} Y_{\downarrow} \quad (21)$$

désigne la dégradation totale de C/N sur la liaison descendante par ciel clair, dégradation due aux brouillages et aux évanouissements, on a alors:

$$Z = X_{\uparrow} V \quad (22)$$

où (dB):

$$z = 10 \log Z = 10 \log X_{\uparrow} + 10 \log V = x_{\uparrow} + v \quad (23)$$

L'équation (22) ou (23), associée aux équations (20) et (21), donne la dégradation totale due aux brouillages et aux évanouissements en fonction des dégradations de C/N sur la liaison montante par ciel clair dues aux évanouissements (X_{\uparrow}) et aux brouillages (I_{\uparrow}) et en fonction des dégradations de C/N sur la liaison descendante par ciel clair dues aux évanouissements (X_{\downarrow}) et aux brouillages (I_{\downarrow}).

Pour obtenir la fonction de densité de probabilité de la dégradation totale z (dB) (voir l'équation (23)), il faut faire une combinaison de la fonction de densité de probabilité de la dégradation due aux évanouissements sur la liaison montante, x_{\uparrow} , exprimée en dB, et de la fonction de densité de probabilité de la variable aléatoire v , définie par:

$$v = 10 \log [aY_{\uparrow} + (1 - a)Z_{\downarrow}] \quad (24)$$

Pour obtenir la fonction de densité de probabilité de la variable aléatoire, v , il faut tout d'abord faire une combinaison des fonctions des variables aléatoires aY_{\uparrow} et $(1 - a)Z_{\downarrow}$.

Exemple

Comme exemple des effets conjoints des brouillages et des évanouissements présents sur les liaisons montante et descendante, considérons les brouillages causés par un système non OSG du SFS à un réseau OSG du SFS.

Les paramètres de la liaison OSG à prendre en considération sont les suivants:

- emplacement de la station terrienne: 26° N, 128° E
- modèle pluviométrique: Recommandation UIT-R P.618, Région N
- angle d'élévation du satellite OSG (à 132° E): 59,28°
- $a = N_{\uparrow}/(N_{\uparrow} + N_{\downarrow}) = 0,0988$
- marge du système: 11,5 dB.

La station terrienne non OSG est située au même emplacement que la station terrienne OSG.

La Fig. 1 donne les valeurs des fonctions de densité de probabilité des dégradations dues aux évanouissements sur la liaison montante, x_{\uparrow} , aux brouillages sur la liaison montante, y_{\uparrow} , aux évanouissements sur la liaison descendante, x_{\downarrow} , et aux brouillages sur la liaison descendante, y_{\downarrow} . En appliquant la procédure décrite plus haut, on obtient la fonction de densité de probabilité de la dégradation totale z , représentée dans la Fig. 2, où est indiquée également la fonction de densité de probabilité de la dégradation présente sur la liaison descendante, z_{\downarrow} . Compte tenu des probabilités de dépassement de la marge du système par la dégradation totale et par la dégradation sur la liaison descendante, on note que, dans le cas considéré, il y a prédominance des effets produits par la dégradation présente sur la liaison descendante (évanouissements + brouillages).

FIGURE 1
Fonction de densité de probabilité de la dégradation due à la pluie et aux brouillages

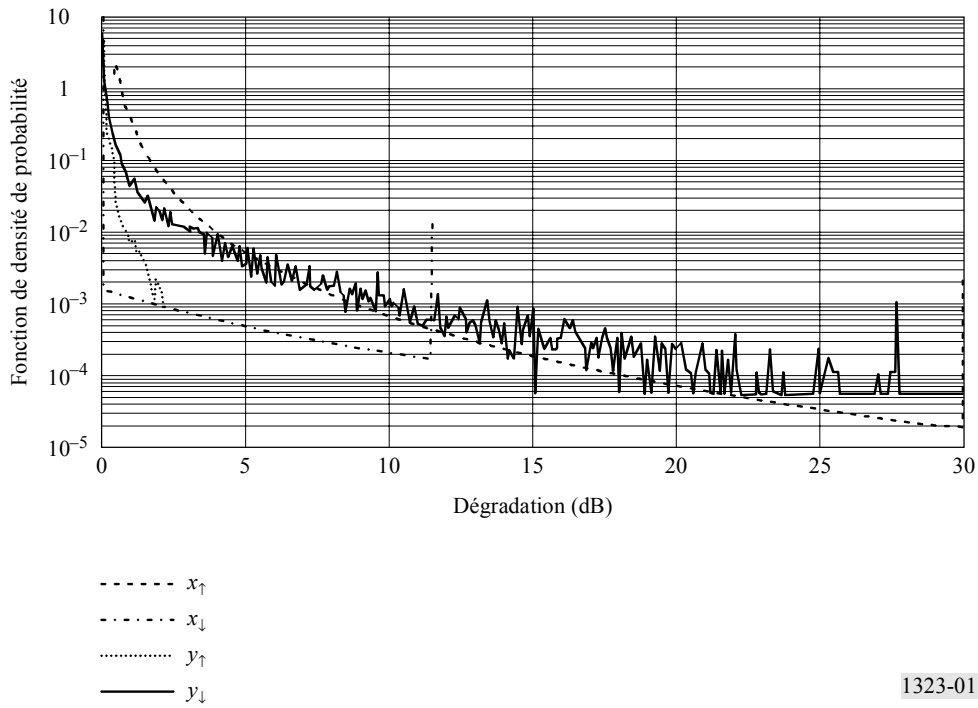
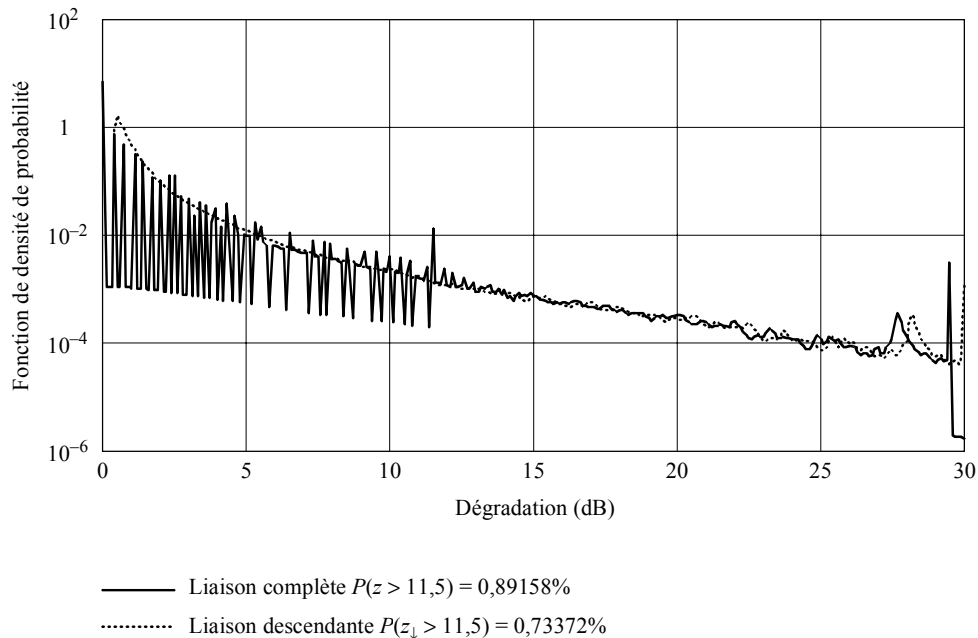


FIGURE 2
Fonction de densité de probabilité de la dégradation totale



5 Etude de la dégradation due aux évanouissements présents sur les liaisons à angle d'élévation variable

Sur les liaisons à destination et en provenance de satellites non OSG, la dégradation due aux évanouissements est aussi une fonction de l'angle d'élévation γ . Pour en tenir compte de façon

approximative, une méthode consiste à déterminer la fonction de densité de probabilité de la dégradation due aux évanouissements pour l'angle d'élévation moyen, γ_{moy} . Il existe cependant, une méthode plus précise, dans laquelle on calcule la fonction de densité de probabilité, $p_\gamma(\Gamma)$, de l'angle d'élévation, après quoi on exprime la fonction de densité de probabilité $p_x(X)$ de la dégradation par:

$$p_x(X) = \int_0^{\pi/2} p_{x|\gamma}(X|\gamma = Z) p_\gamma(Z) dZ \quad (25)$$

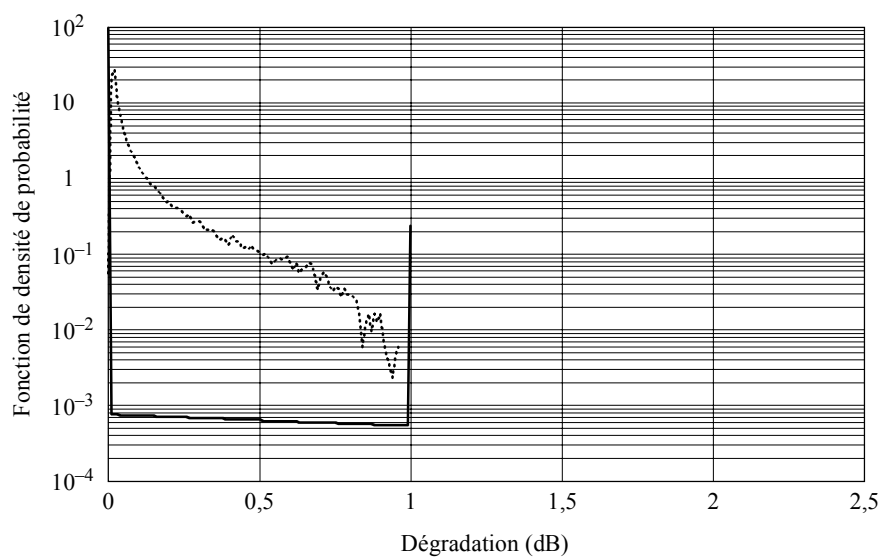
Exemple

A titre d'exemple, considérons les brouillages entre les liaisons montantes de deux systèmes à satellites non OSG. Le système non OSG brouillé évite les alignements, avec un angle d'évitement de 10° . Cet angle est tout juste suffisant pour que la dégradation totale z satisfasse aux conditions de pourcentage de temps admissible. La liaison montante brouillée utilise une régulation de puissance, avec les paramètres suivants: portée dynamique, 6,8 dB; marge de liaison par ciel clair, 1 dB; et marge de liaison pour forte pluie, 0 dB. Cela étant, la fonction de densité de probabilité correspondante pour les évanouissements dus à la pluie a été représentée avec une impulsion à 0 dB, correspondant à la probabilité pour que x (dégradation due aux évanouissements) soit comprise entre 0 et 5,8 dB, et avec une seconde impulsion à 1 dB, correspondant à la probabilité pour que x dépasse 6,8 dB.

La Fig. 3 donne les fonctions de densité de probabilité des dégradations dues à la pluie, x , et aux brouillages, y , pour les brouillages sur la liaison montante, la distribution de x étant définie sur la base de l'angle d'élévation moyen. La courbe est tracée dans le cas du modèle pluviométrique de Crane. La Fig. 4 présente la dégradation totale z correspondante, résultat de la combinaison des fonctions de densité de probabilité de x et de y .

FIGURE 3

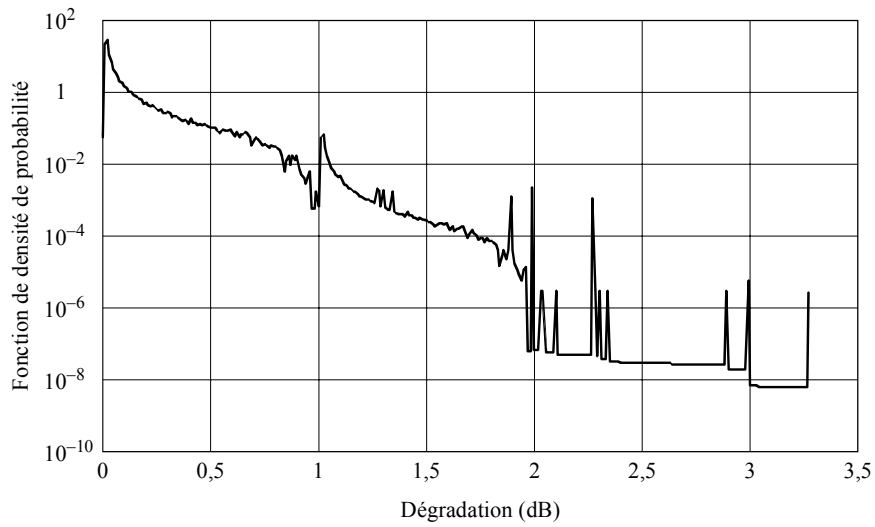
Fonction de densité de probabilité de la dégradation due aux évanouissements par la pluie, x , et aux brouillages, y , pour le modèle de Crane et l'angle d'élévation moyen pondéré
(liaison montante de LEOSAT-2, angle d'évitement 10°)



— x
 y
 $P(x > 1) < 0,24113\%$

FIGURE 4

Fonction de densité de probabilité de la dégradation totale, z , pour le modèle de Crane et l'angle d'élevation moyen pondéré (liaison montante de LEOSAT-2, angle d'évitement 10°)



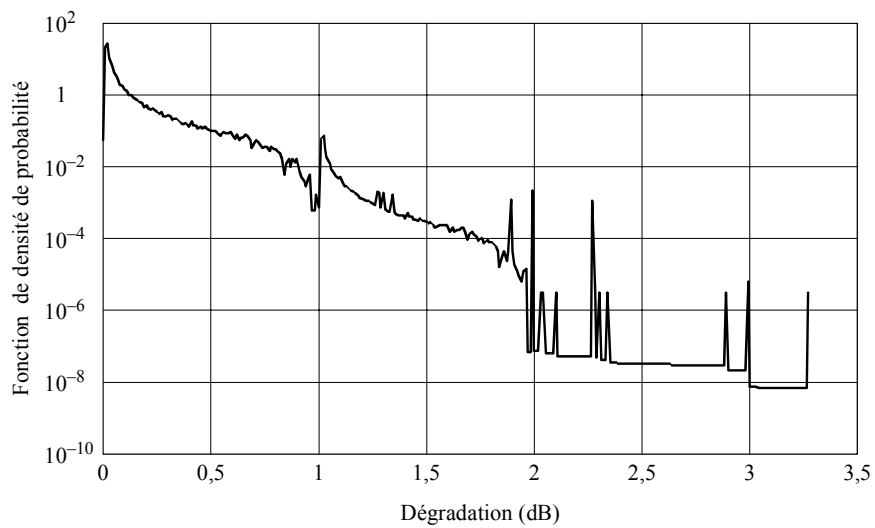
Seuil = 0,26792%
 $P(z > 1) = 0,25783\%$

1323-04

La Fig. 5 donne la distribution de la dégradation totale, z , que l'on obtient lorsqu'on utilise la distribution de l'angle d'élevation pour générer les évanouissements dus à la pluie, au lieu d'utiliser l'angle d'élevation moyen. La dégradation totale satisfait tout juste à la marge temporelle, de la même façon que les résultats présentés dans la Fig. 2.

FIGURE 5

Fonction de densité de probabilité de la dégradation totale, z , pour le modèle de Crane et la distribution de l'angle d'élevation (liaison montante de LEOSAT-2, angle d'évitement 10°)



Seuil = 0,29394%
 $P(z > 1) = 0,28159\%$

1323-05

D'autres exemples ont confirmé qu'on obtient des résultats très sensiblement identiques si l'on calcule la dégradation due aux évanouissements en appliquant l'équation (25) ou si l'on fait ce calcul sur la base de l'angle d'élévation moyen γ_{moy} . Cela justifie l'emploi de la méthode la plus simple, c'est-à-dire calculer la dégradation due aux évanouissements sur la base de l'angle moyen γ_{moy} .

On trouvera dans l'Annexe 3 la description d'une procédure qui permet de prendre en compte, d'une part, la variation temporelle des paramètres d'une liaison non OSG et, d'autre part, la dépendance statistique éventuelle entre les évanouissements et les brouillages.

6 Exemples d'application de la Méthode A

Considérons une liaison descendante OSG censée fonctionner de telle façon que le rapport C/N à la réception dépasse une valeur seuil $(C/N)_s$ pendant au moins 99,9% du temps.

On suppose que la dégradation due aux évanouissements inclut l'affaiblissement dû à la pluie, qui est fourni directement par le modèle de Crane à deux composantes, plus l'élévation de la température de bruit due à la pluie. On suppose, par ailleurs, que le bruit total sur la liaison descendante inclut également les brouillages (intrasystème et intersystèmes) et que les signaux brouilleurs subissent les mêmes évanouissements que le signal utile.

La dégradation X , exprimée en unités linéaires, a pour expression:

$$X = \frac{(1 - \alpha) \left\{ L_R + \left[(T_0 - T_B) / T_{sys} \right] [(L_R - 1 / L_A)] \right\} + (\alpha / L_A)}{(1 - \alpha) + (\alpha / L_A)} \quad (26)$$

où:

- α : fraction du bruit total sur la liaison descendante par ciel clair, due aux brouillages
- L_R : affaiblissement dû à la pluie
- T_0 : température d'absorption moyenne (274,8 K)
- T_B : température de fond (2,76 K pour le ciel)
- T_{sys} : température de bruit thermique sur la liaison descendante
- L_A : affaiblissement dû à l'absorption dans l'atmosphère (1,07 – correspondant à 0,3 dB).

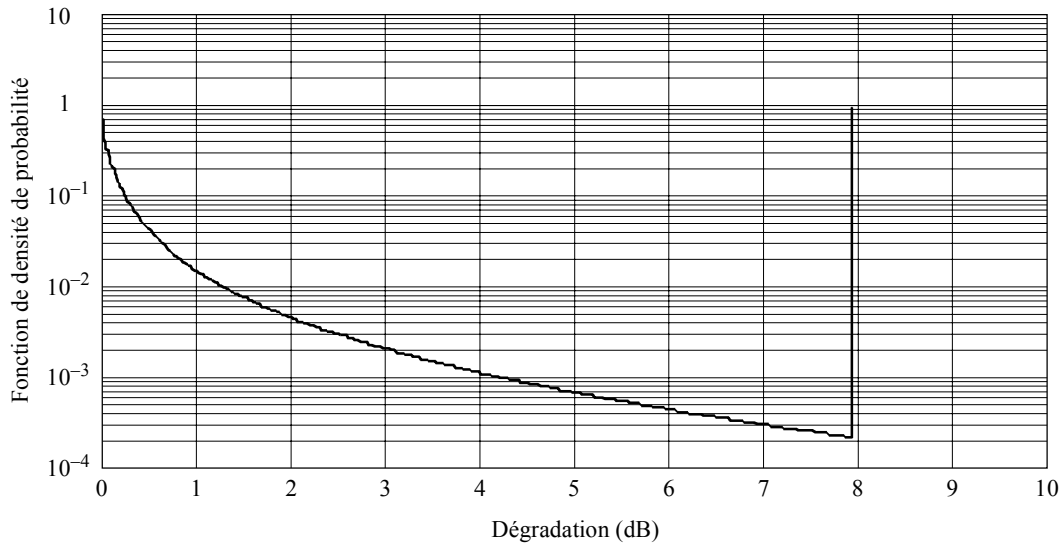
Pour pouvoir se situer au-dessus d'un certain seuil $(C/N)_s$ pendant 99,9% du temps, la liaison est réalisée avec une marge X_{max} – différence entre $(C/N)_{cs}$, (rapport C/N par ciel clair), et $(C/N)_s$ – telle que $p(x > X_{max}) = 0,09\%$ (le 0,01% restant correspondra aux effets des brouillages).

Supposons qu'une station terrienne située dans la ville de New York (latitude 41° N; longitude 74° O) reçoit sur 19 GHz avec un angle d'élévation de 42,43°, $\alpha = 0,2$ et $T_{sys} = 323,6$ K; cela donne $X_{max} = 7,923$ dB, d'où:

$$(C/N)_{cs} - (C/N)_s = 7,923 \quad (27)$$

La Fig. 6 donne les valeurs de la fonction de densité de probabilité correspondante, $p_x(X)$, de la dégradation x due aux évanouissements. Cette fonction de densité de probabilité a été coupée à $X = X_{max} = 7,923$.

FIGURE 6
 Fonction de densité de probabilité de la dégradation, x ,
 imputable aux évanouissements dus à la pluie
 (pour un récepteur OSG)

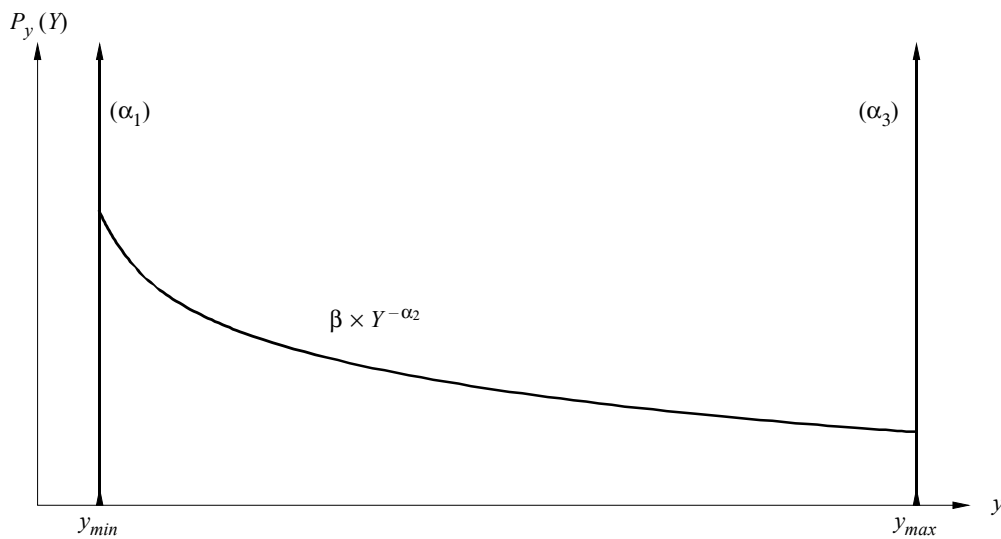


$X = 7,923$ pour $P(x > X) = 0,09\%$

1323-06

Il a été vérifié que, dans certaines situations représentatives, $p_y(Y)$ peut être modélisé commodément par la fonction de la Fig. 7.

FIGURE 7
 Modèle graphique de la dégradation, y , due aux brouillages, exprimée en dB



1323-07

Nous allons maintenant considérer séparément l'utilisation de la Méthode A pour le calcul d'un gabarit de brouillage et pour vérifier si les spécifications des *recommande* 3, 4, 5 et 6 sont satisfaites dans un cas donné.

6.1 Calcul d'un gabarit de brouillage

Pour calculer un gabarit de probabilité, il faudrait combiner les fonctions de densité de probabilité des Fig. 6 et 7, et faire en sorte que la fonction de densité de probabilité résultante $p_z(Z)$ soit telle que la condition dans l'équation (11) de la description de la Méthode A est satisfaite. Dans l'exemple considéré ici, cette condition devient:

$$P(z > 7,923) \leq 0,1\% \quad (28)$$

La combinaison analytique de $p_x(X)$ et $p_y(Y)$ présente des difficultés certaines. Il est donc évident que $P(z > 7,923)$ ne peut pas s'exprimer analytiquement comme une fonction des paramètres α_1 , α_2 , α_3 (à noter que le paramètre β de la Fig. 7 est une fonction de α_1 , α_2 , α_3). Au lieu de cela, la combinaison doit être faite pour plusieurs choix de valeurs de α_1 , α_2 , α_3 , pour pouvoir déterminer des ensembles de valeurs possibles de ces paramètres (dans ces combinaisons, on a choisi une très petite valeur pour y_{min} , 0,04, et on a pris $y_{max} = 7,923$). Ces valeurs possibles sont celles pour lesquelles l'inéquation dans l'équation (28) est satisfaisante. Le Tableau 1 donne un échantillon de choix possibles pour α_1 , α_2 , α_3 .

TABLEAU 1

Ensembles de valeurs de α_1 , α_2 , α_3 qui satisferaient à l'inégalité $P(z > 7,923) \leq 0,1\%$

α_1	α_2	α_3	$P(z > 7,923)$
0,25	2,5	0,00007	0,000998
	2,0	0,00002	0,000999
0,50	2,5	0,00007	0,000992
	2,0	0,00004	0,000962
0,75	2,5	0,00008	0,000996
	2,0	0,00006	0,000993
0,90	2,5	0,00008	0,000992
	2,0	0,00008	0,000999
	1,5	0,00004	0,000994
0,95	2,5	0,00008	0,000991
	2,0	0,00008	0,000994
	1,5	0,00006	0,000992
	1,0	0	0,000995

Comme on pouvait le prévoir, le Tableau 1 montre que α_1 et α_3 ne garantissent pas par eux-mêmes que l'inégalité dans l'équation (28) est satisfaite. Plus la valeur de α_2 est élevée, plus on a de latitude dans le choix de α_1 et α_3 . En conséquence, les conditions à imposer à $p_y(Y)$ devraient inclure un point intermédiaire de distribution, en fonction de la valeur requise de α_2 . Bien entendu, plus la

valeur de α_2 est élevée, plus grande est la probabilité d'occurrence d'une dégradation plus faible due aux brouillages. Par exemple, en partant de l'ensemble de valeurs $\alpha_1 = 0,90$; $\alpha_2 = 1,5$ et $\alpha_3 = 0,00004$, les conditions à imposer au brouillage I pourraient s'exprimer comme suit:

$$P(I \geq 0,01N_T) \leq 10\%$$

$$P(I \geq 0,1N_T) \leq 2,69\%$$

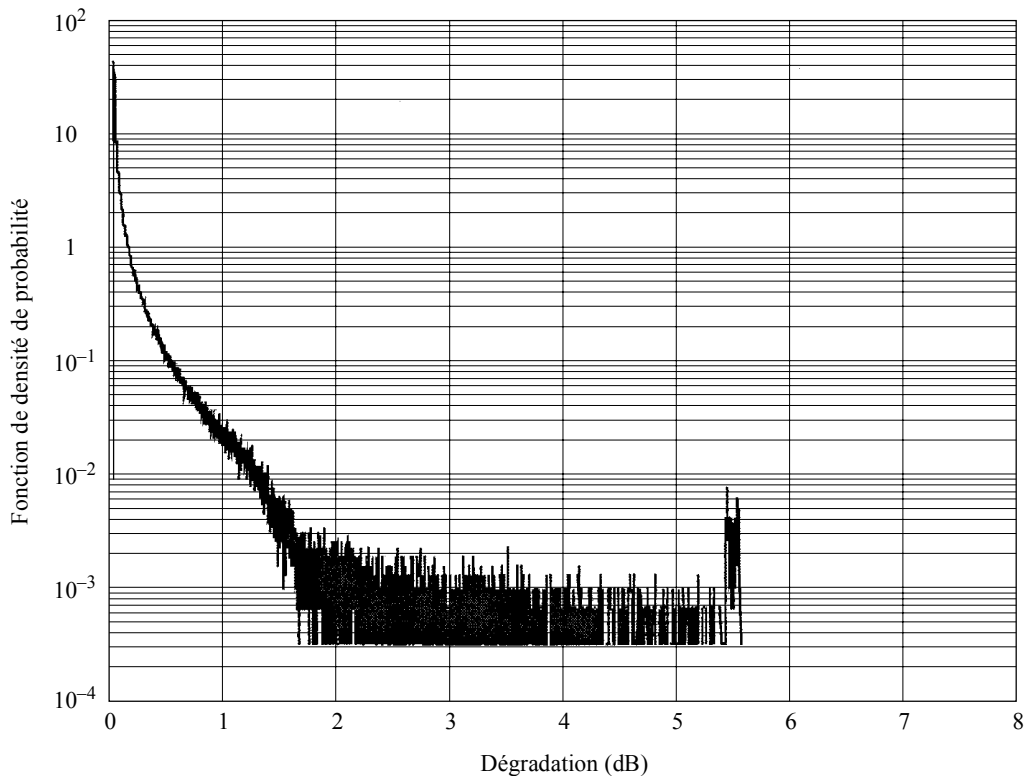
$$P(I \geq 5,2N_T) \leq 0,004\%$$

6.2 Vérification pour savoir si les spécifications des *recommande 3, 4, 5 et 6* sont satisfaites

Si l'on a affaire à une situation spécifique et si l'on connaît la fonction de densité de probabilité $p_y(Y)$ de la dégradation y due aux brouillages, il est facile de vérifier si les spécifications des *recommande 3, 4, 5 et 6* sont satisfaites. Il faut pour cela effectuer la combinaison des fonctions de densité de probabilité $p_x(X)$ et $p_y(Y)$, ce qui donne une fonction de densité de probabilité $p_z(Z)$ associée à la dégradation totale z . Connaissant $p_z(Z)$, on peut calculer le membre de gauche de l'équation (28) et vérifier par conséquent si l'inégalité est satisfaite.

A titre d'illustration, la Fig. 8 présente une fonction de densité de probabilité $p_y(Y)$ obtenue par simulation et correspondant à la dégradation due aux brouillages causés par une constellation non OSG dans la liaison descendante OSG considérée dans cet exemple.

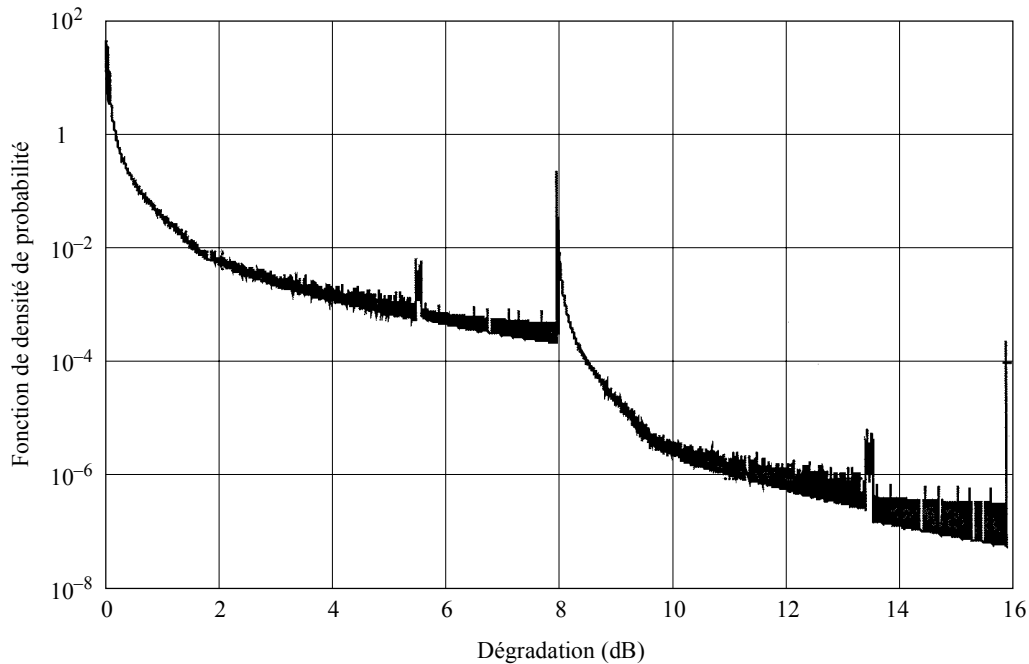
FIGURE 8
Fonction de densité de probabilité de la dégradation
due aux brouillages, y , obtenue par simulation
(pour le cas non OSG/OSG)



En faisant la combinaison des fonctions représentées aux Fig. 6 et 8, on obtient la fonction de densité de probabilité $p_z(Z)$, indiquée dans la Fig. 9.

FIGURE 9

Fonction de densité de probabilité de la dégradation totale, z , obtenue par combinaison des fonctions de densité de probabilité représentées aux Fig. 6 et 8 (pour le cas non OSG/OSG)



1323-09

$$P(z > 7,923) = 0,12035\%$$

Sur la base de la fonction de densité de probabilité tracée dans la Fig. 9, le calcul donne:

$$P(z > 7,293) = 0,12035\%$$

ce qui signifie que les spécifications des *recommande* 3, 4, 5 et 6 telles qu'exprimées par l'inégalité dans l'équation (28), ne sont pas satisfaites.

PARTIE 2

Méthode A'

1 Introduction

La Méthode A' représente une simplification de la Méthode A, dans laquelle on choisit des représentations graphiques spécifiques pour les fonctions de densité de probabilité des évanouissements dus à la pluie et des brouillages. Le but est d'établir la probabilité combinée des évanouissements et des brouillages, et de faire en sorte que la probabilité cumulée combinée satisfasse aux critères spécifiés pour la qualité de fonctionnement de la liaison; ces critères sont

caractérisés par un ensemble de dégradations du rapport C/N et par les fractions de temps correspondantes, $p_i^{C/N}$, pendant lesquelles ces dégradations peuvent être dépassées. La dégradation de la qualité de fonctionnement du système imputable aux évanouissements dus à la pluie est caractérisée par la fonction de densité de la probabilité $p_x(x)$ pour que la dégradation due aux évanouissements soit comprise entre x et $x + \delta x$ dB; de la même façon, la dégradation due aux brouillages est caractérisée par la fonction de densité de la probabilité $p_y(y)$ pour que cette dégradation soit comprise entre y et $y + \delta y$ dB. Les objectifs globaux de qualité de fonctionnement de la liaison seront réalisés si la distribution de probabilité cumulée combinée des évanouissements et des brouillages ne dépasse pas les objectifs spécifiés pour la dégradation du rapport C/N . La probabilité $P(z \geq z_i)$ pour qu'une dégradation z dépasse une valeur z_i doit être inférieure aux critères spécifiés pour la qualité de fonctionnement $p_i^{C/N}$, soit:

$$P(z \geq z_i) = \int_{z_i}^{\infty} p_z(z) dz \leq p_i^{C/N} \quad (29)$$

avec:

$$p_z(z) = p_x(x) * p_y(y) \quad (30)$$

où * représente la combinaison des deux probabilités. L'expression mathématique de la combinaison est:

$$p_z(z) = \int_{-\infty}^{\infty} p_x(w) \cdot p_y(z - w) dw \quad (31)$$

La fonction de densité de probabilité des évanouissements $p_x(x)$, est prédéterminée, ainsi que plusieurs points de la courbe de distribution de la probabilité pour que le rapport de qualité C/N soit atteint, cette distribution dépendant de $p_z(z)$. Il est donc possible de déterminer les niveaux de brouillage admissibles pendant plusieurs pourcentages de temps et permettant néanmoins de réaliser les objectifs de qualité de fonctionnement de la liaison, en recherchant pour la densité de probabilité $p_y(y)$ une courbe qui satisfasse à l'équation (31). En pratique, les niveaux maxima admissibles du brouillage sont spécifiés quand cette équation est exprimée sous la forme d'une égalité. Le problème se ramène essentiellement à la recherche d'un ensemble de niveaux de brouillage y_j qui satisfont à cette équation et qui ne sont pas dépassés pendant $P_y (= 100 p_y) \%$ de l'année.

La Méthode A' fournit une solution du premier ordre de l'équation (29), dans laquelle les fonctions de densité de probabilité sont représentées graphiquement par deux points qui correspondent:

- au pourcentage de temps pendant lequel un niveau donné d'évanouissement dû à la pluie ou de brouillage est dépassé; et
- au pourcentage de temps au-delà duquel la probabilité d'évanouissement dû à la pluie ou de brouillage est faible ou nulle,

avec distribution linéaire entre ces deux points. Ce modèle à rectangle unique donne une solution analytique de l'intégrale de l'équation (29), facile à mettre en œuvre sur un tableur.

2 Procédure proposée

L'application de la procédure décrite ci-après différera selon la nature du répondeur du satellite. Pour un répéteur transparent, il est courant de rapporter les limites de brouillage aux bornes de l'antenne de réception de la station terrienne. Dans ce cas, comme les évanouissements et les brouillages sur les liaisons montantes et descendantes provoquent une dégradation de la porteuse utile, et pour les répondeurs à plusieurs porteuses, les abaissements du niveau des porteuses dus aux évanouissements sur la liaison montante entraînent des abaissements équivalents du niveau de la porteuse sur la liaison descendante. En toute rigueur, il faudrait combiner les statistiques de la propagation sur la liaison montante et sur la liaison descendante pour pouvoir déterminer la distribution $p_x(x)$. Toutefois, en l'absence de régulation de puissance, les évanouissements présents sur la liaison montante pourraient avoir tendance à prédominer sur les statistiques à court terme de la propagation; en effet, l'affaiblissement par la pluie pendant un pourcentage de temps donné est beaucoup plus grand à la fréquence supérieure de la liaison montante qu'à la fréquence inférieure de la liaison descendante. Par conséquent, dans le cas considéré ici, on peut simplifier la procédure en utilisant les statistiques de prévision de l'affaiblissement par la pluie pour la fréquence de la liaison montante. Un complément d'étude est nécessaire en ce qui concerne les porteuses soumises à une régulation de puissance sur le trajet montant; en attendant, cependant, on peut obtenir dans ce cas des estimations de l'ordre de grandeur correct en faisant l'hypothèse que les évanouissements nets sur la liaison montante ne sont pas plus graves que les évanouissements sur la liaison descendante, ce qui conduit à utiliser la valeur de prévision de l'affaiblissement par la pluie pour la fréquence de la liaison descendante. Il peut toutefois exister des cas où, même avec régulation de fréquence, les évanouissements sur la liaison montante prédominent.

Dans le cas d'un répéteur à remodulation, étant donné que les rapports C/N et C/I de la liaison montante sont découplés des rapports C/N et C/I de la liaison descendante, il est possible de calculer les critères de brouillage séparément pour les deux parties de la connexion. On attribue la dégradation totale à court terme à l'ensemble: évanouissements + brouillages sur chaque trajet.

Sur la base des hypothèses et des données requises indiquées plus haut, les étapes décrites ci-après permettent de déterminer les marges de brouillage correspondant à toute porteuse utile donnée.

2.1 Etape 1: Caractérisation de la dégradation admissible du rapport C/N

On détermine tout d'abord les valeurs z_j de la dégradation totale, z , telle que définie par l'équation (32) de la Méthode A, qui peuvent être dépassées pendant un pourcentage de temps maximum de p_j % de l'année:

$$z_j = \left(\frac{C}{N} \right)_{cs} - \left(\frac{C}{N} \right)_j \quad j = 1, \dots, J \quad (32)$$

Selon le *recommande* 3.1, les brouillages ne doivent pas être à l'origine de plus de 10% de la marge temporelle associée aux valeurs de la dégradation. En conséquence, un maximum de 90% de la durée totale des dégradations est attribué aux dégradations dues aux évanouissements. La probabilité de dégradation excessive due aux évanouissements peut s'exprimer par:

$$P_x(x \geq z_j) = \int_{z_j}^{\infty} p_x(x) dx \leq 0,9 p_j \quad (33)$$

2.2 Etape 2: Caractérisation de la dégradation due aux évanouissements et à d'autres variations à court terme des caractéristiques de la liaison

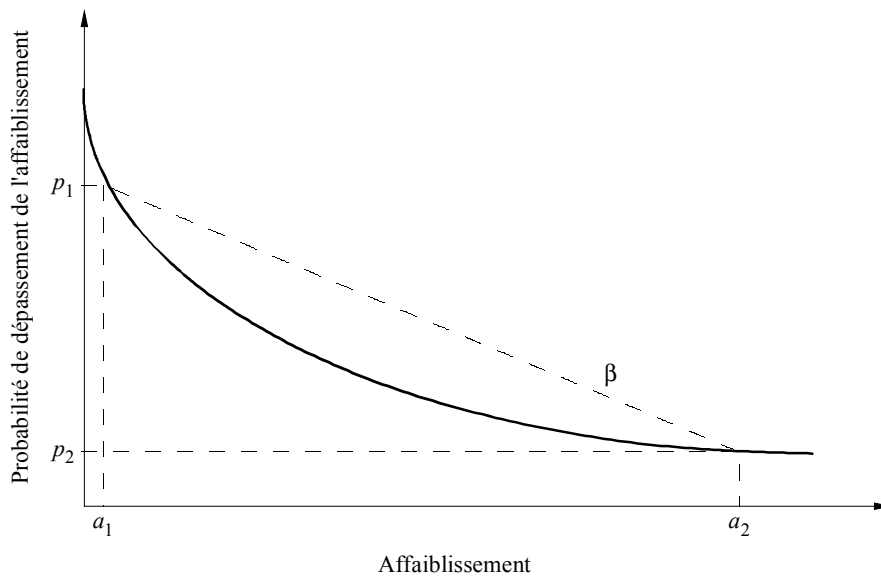
Ce paragraphe traite exclusivement des dégradations dues aux évanouissements provoqués par la pluie. Un complément d'étude est nécessaire en ce qui concerne la prise en compte des effets produits par d'autres variations temporelles des caractéristiques de la liaison.

Pour chaque réseau subissant des brouillages, on choisit une représentation graphique pour la fonction de densité de probabilité correspondant à la dégradation de la qualité de fonctionnement de la liaison sous l'effet des évanouissements dus à la pluie $p_x(x)$. Pour faciliter les calculs, il faut simplifier la forme de ces fonctions de densité de probabilité en les réduisant à un ensemble A_p d'affaiblissements dus à la pluie qui peuvent être dépassés seulement pendant un pourcentage de temps maximum $p_x(x)$.

La représentation graphique choisie en l'occurrence, consiste à simplifier la fonction de densité de probabilité pour obtenir un ensemble de gradients et un point terminal, avec la condition que l'intégrale de cette fonction soit égale à l'unité. Les évanouissements provoqués par l'affaiblissement dû à la pluie peuvent être représentés par la fonction de distribution cumulative tracée dans la Fig. 10.

FIGURE 10

Distribution cumulative type des affaiblissements dus à la pluie



1323-10

Cette courbe de distribution peut se ramener à un segment unique caractérisé par le gradient (ou pente) de la droite passant par deux points, à savoir le gradient $\beta = (p_2 - p_1)/(a_2 - a_1)$, et la limite supérieure peut être définie par la probabilité pour que l'affaiblissement dépasse a_1 dB, $p = p_1$. Cela étant, la limite inférieure est soumise à une contrainte du fait que la probabilité totale, c'est-à-dire l'intégrale de la fonction de densité de probabilité, doit être égale à l'unité. Le but de cette représentation graphique est de transformer les distributions de probabilité des facteurs dont dépend la qualité de fonctionnement de la liaison, à savoir, les évanouissements, les brouillages et les spécifications de la qualité de fonctionnement elles-mêmes, en fonctions de densité de probabilité sous la forme d'un rectangle unique et de probabilités en deux points, qu'il est facile de combiner pour obtenir la distribution admissible des niveaux de brouillage.

La procédure décrite dans la Recommandation UIT-R P.618 permet d'obtenir la distribution cumulative des évanouissements dus à l'affaiblissement provoqué par la pluie, avec utilisation des coefficients d'affaiblissement par la pluie qui sont donnés dans la Recommandation UIT-R P.838. On obtient la distribution cumulative à partir du paramètre de base $R_{0,01}$, intensité de pluie à l'emplacement de la station terrienne pendant 0,01% d'une année moyenne. Ce paramètre peut être déterminé à partir de données météorologiques mesurées localement ou, en l'absence de données locales, à l'aide de la Recommandation UIT-R P.837 pour la zone hydrométéorologique en cause. La Recommandation UIT-R P.618 donne alors l'affaiblissement dû à la pluie $A_{0,01}$ qui sera dépassé pendant 0,01 % de l'année. La distribution cumulative des affaiblissements dus à la pluie entre 0,001 et 1% de l'année, A_p , est donnée, pour différents pourcentages de temps p par la formule:

$$\frac{A_p}{A_{0,01}} = 0,12 p^{-(0,546 + 0,043 \log p)} \quad (34)$$

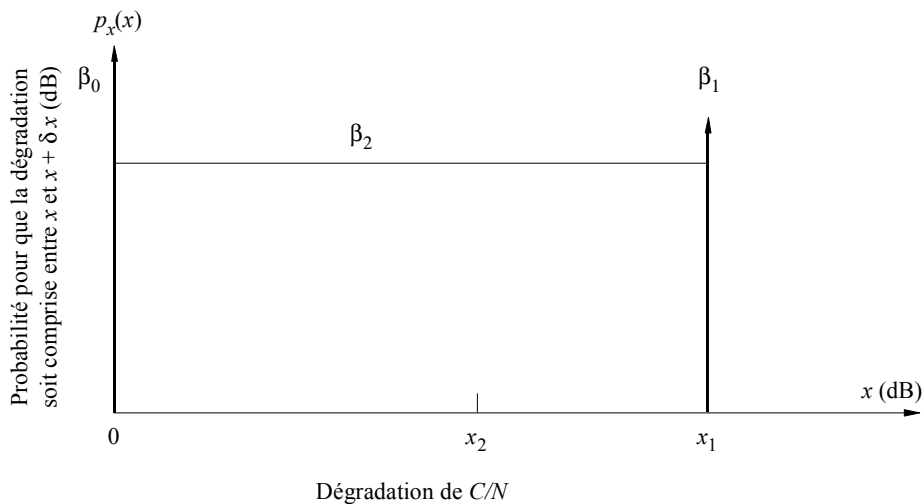
et on obtient le pourcentage de temps pendant lequel un affaiblissement est dépassé en prenant la forme inversée de l'équation (34).

$$p_A = 10^{11,628 \left(-0,546 + \sqrt{0,298 + 0,172 \log \left(0,12 \frac{A_{0,01}}{A_p} \right)} \right)} \quad (35)$$

Dans la méthode du rectangle unique les évanouissements dus à la pluie sont représentés graphiquement par deux points de la courbe, qui correspondent au pourcentage de temps pendant lequel un niveau d'affaiblissement donné est dépassé, au pourcentage de temps au-delà duquel la probabilité de pluie est faible ou nulle, et à la pente linéaire de la distribution entre ces deux points. La distribution cumulative est donc représentée, en première approximation, par un trapèze, comme le montre la Fig. 10, et la fonction de densité de probabilité par un rectangle unique et par les valeurs correspondant à deux points ainsi qu'il ressort de la Fig. 11:

FIGURE 11

Représentation graphique, par un rectangle unique, de la fonction de densité de probabilité des évanouissements



2.2.1 Détermination de β_i

β_1 représente la probabilité pour que x_1 dB, dégradation du rapport C/N , soit dépassée. Cette dégradation peut être déterminée à partir du rapport $(C/N)_{cs}$ et des rapports $(C/N)_i$ nécessaires pour obtenir un niveau donné de qualité de fonctionnement pendant $p_i\%$ du temps. Cela étant, les dégradations admissibles sont données par:

$$x_i = \left(\frac{C}{N} \right)_{cs} - \left(\frac{C}{N} \right)_i \quad x_1 > x_2 \quad (36)$$

Dans le cas d'un système à satellites fonctionnant avec remodulation, la dégradation maximale admissible x_1 peut être associée au niveau des évanouissements présents sur la liaison montante et séparément sur la liaison descendante, niveau déterminé à partir des affaiblissements dus à la pluie.

La fraction de temps β_1 pendant laquelle la dégradation maximale ne doit pas être dépassée peut ensuite être déterminée à partir de l'équation (35), soit: $\beta_1 = p_A$ pour un évanouissement $A_p \equiv x_1$. On notera que cette fraction de temps doit satisfaire à la spécification du *recommande* 3.1, à savoir que les dégradations dues aux évanouissements doivent représenter au maximum 90% des marges temporelles associées à chaque objectif de TEB ou de C/N .

Dans le cas d'un répéteur de satellite transparent, une fraction du bruit de système total dans le récepteur de la station terrienne prend naissance sur la liaison montante et ce bruit se trouve réduit sous l'effet des évanouissements présents sur la liaison descendante. Si l'on veut tenir compte de ce phénomène, il faut spécifier des paramètres supplémentaires pour le système. L'Annexe 3 décrit une procédure pour le calcul de l'évanouissement résultant, à utiliser dans l'équation (35).

Le paramètre β_2 représente la pente de la distribution cumulative de l'affaiblissement entre le point où l'on détermine β_1 (c'est-à-dire pour une dégradation de x_1 dB) et un autre point de la distribution où la dégradation $x \approx 0$ dB. Ce point, qui est la limite inférieure de la distribution, représente essentiellement la fraction de temps pendant laquelle il n'y a pas d'affaiblissement dû à la pluie. On peut l'identifier avec la fraction de temps pendant laquelle il pleut (durée des précipitations pluviales). La valeur type de cette fraction p_0 est comprise entre 1% et 3% du temps, cette valeur devant satisfaire à certaines conditions pour être utilisée dans la méthode décrite ici (voir plus loin). On peut maintenant déterminer le paramètre β_2 , qui a pour expression:

$$\beta_2 = \frac{p_0 - \beta_1}{x_1} \quad (37)$$

D'après les spécifications du *recommande* 3.1, le pourcentage de temps pendant lequel les évanouissements sont supérieurs à x_2 dB ne doit pas dépasser 90% de p_2 , d'où:

$$\beta_1 + (x_1 - x_2) \beta_2 \leq 0,9 p_2 \quad (38)$$

Compte tenu des équations (37) et (38), p_0 doit satisfaire à la relation:

$$p_0 \leq \frac{0,9 p_2 x_1 - \beta_1 x_2}{x_1 - x_2} \quad (39)$$

Comme l'intégrale de la fonction de densité de probabilité doit être égale à l'unité, il est facile de déterminer β_0 en appliquant la formule:

$$\beta_0 = 1 - x_1 \beta_2 - \beta_1 \quad (40)$$

Les paramètres β_0 , β_1 et β_2 se trouvent ainsi déterminés à partir des caractéristiques des évanouissements dus à la pluie, ainsi que la dégradation maximale admissible du rapport C/N .

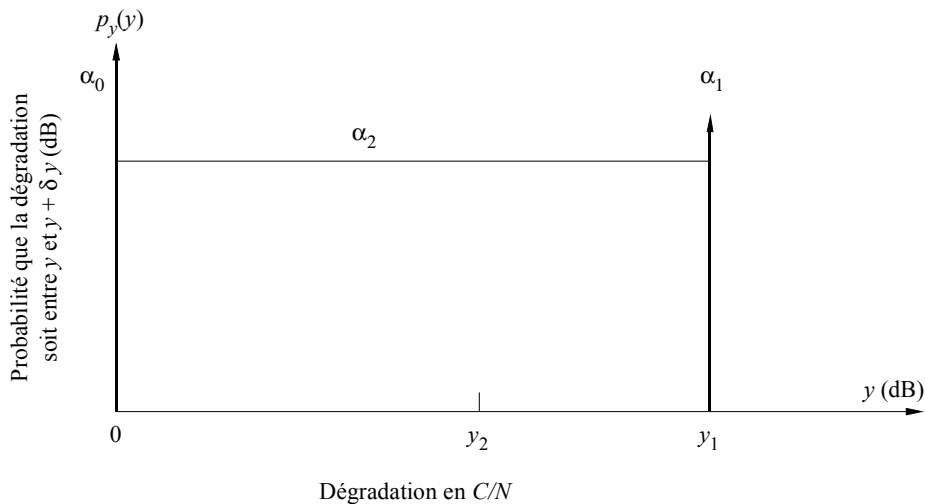
2.3 Etape 3: Caractérisation des brouillages admissibles

Il existe théoriquement un nombre infini de fonctions de densité de probabilité $p_y(y)$ qui satisferaient à l'équation (30). Toutefois, pour plus de commodité, on adoptera ici une représentation graphique de la dégradation due aux brouillages (voir la Fig. 12), comme cela a été fait pour les évanouissements, avec la condition suivante:

$$\alpha_0 + y_1 \alpha_2 + \alpha_1 = 1 \quad (41)$$

FIGURE 12

Représentation graphique, par un rectangle unique, de la fonction de densité de probabilité des brouillages



1323-12

2.4 Etape 4: Combinaison des fonctions de densité de probabilité

Il est possible à présent de représenter la dégradation totale z sous forme graphique comme le résultat de la convolution des fonctions de densité de probabilité des critères de qualité de fonctionnement, y compris les caractéristiques des évanouissements, $p_x(x)$, et de la fonction de densité de probabilité des brouillages, $p_y(y)$:

$$p_z(z) = p_x(x) * p_y(y) \quad (42)$$

où $p_x(x)$ est la fonction de densité de probabilité pour les évanouissements dus à la pluie, et $p_y(y)$ la fdp pour les brouillages.

Il est facile de combiner l'une avec l'autre les deux fonctions de densité de probabilité rectangulaires pour obtenir la fonction de densité de probabilité représentée à la Fig. 13: un triangle, deux rectangles et trois valeurs de point.

On a maintenant, à partir des données et de l'équation (36), les dégradations maximales admissibles pendant des fractions de temps p_i ($p_1 < p_2$):

$$z_i = \left(\frac{C}{N}\right)_{cs} - \left(\frac{C}{N}\right)_i \quad z_1 > z_2 \quad (43)$$

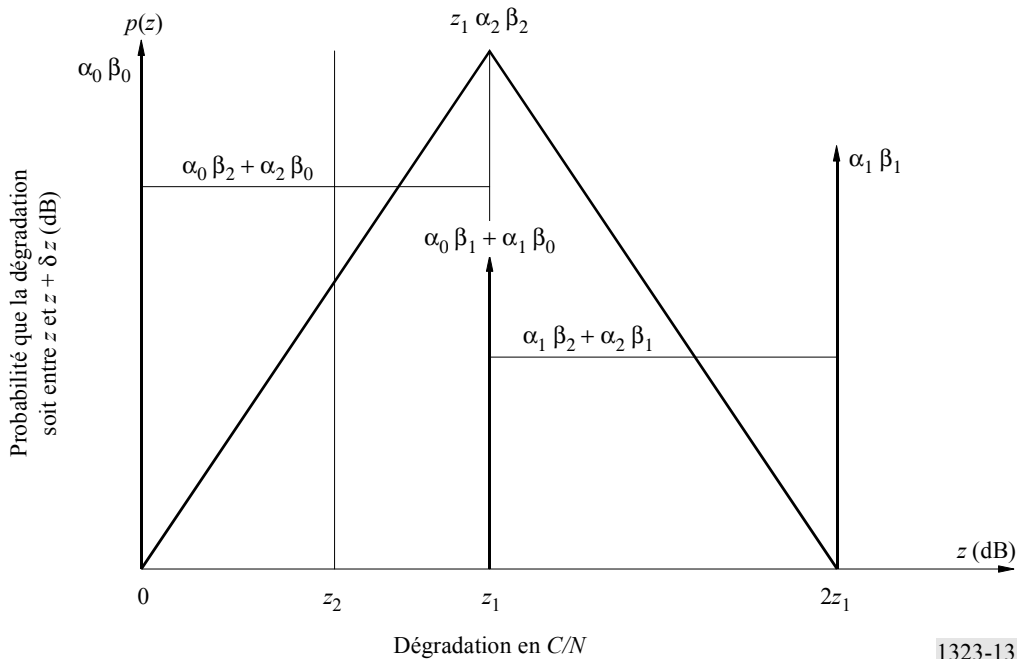
La dégradation z_1 ne peut pas être dépassée pendant une fraction de temps supérieure à p_1 , d'où:

$$P_z(z \geq z_1) \leq p_1 \quad (44)$$

Si l'on traite cette expression comme une égalité (ce qui, comme indiqué dans l'introduction, conduira aux niveaux de brouillage maxima admissibles), on trouve, sur la base de la Fig. 13, la probabilité $P_z(z \geq z_1)$ en intégrant entre $z = z_1$ et $z = \infty$:

$$\alpha_0 \beta_1 + \alpha_1 \beta_0 + \alpha_1 \beta_1 + z_1 (\alpha_1 \beta_2 + \alpha_2 \beta_1) + \frac{1}{2} z_1^2 \alpha_2 \beta_2 = p_1 \quad (45)$$

FIGURE 13
Fonction de densité de probabilité obtenue par combinaison pour la dégradation totale de C/N



1323-13

De la même façon, la dégradation z_2 ne peut pas être dépassée pendant une fraction de temps supérieure à p_2 , et, avec l'hypothèse de l'égalité pour l'expression (44), la probabilité pour que la dégradation soit comprise entre z_2 et z_1 est donnée par:

$$P_z(z_1 \geq z \geq z_2) \leq p_2 - p_1 \quad (46)$$

Cette expression peut être mise sous la forme d'une égalité par l'introduction d'un nouveau paramètre F , d'où:

$$P_z(z_1 \geq z \geq z_2) = F(p_2 - p_1) \quad (47)$$

où $F \leq 1$ désigne une fraction de la marge temporelle associée à la dégradation $z_1 - z_2$.

Cette probabilité peut, ici, aussi, être obtenue à partir de la Fig. 4, par intégration entre $z = z_2$ et $z = z_1$:

$$(z_1 - z_2) \left[\alpha_0 \beta_2 + \alpha_2 \beta_0 + \frac{1}{2} (z_1 + z_2) \alpha_2 \beta_2 \right] = F(p_2 - p_1) \quad (48)$$

NOTE 1 – La valeur de point $(\alpha_0 \beta_1 + \alpha_1 \beta_0)$ ne peut pas être prise en compte dans l'établissement de l'équation (48) car il en a déjà été tenu compte dans l'établissement de l'équation (45).

D'après l'équation (41):

$$\alpha_0 = 1 - \alpha_1 - z_1 \alpha_2 \quad (49)$$

et les équations (45) et (48) peuvent s'écrire:

$$\begin{aligned} a \alpha_1 + b \alpha_2 &= c \\ d \alpha_1 + e \alpha_2 &= f \end{aligned} \quad (50)$$

Il est facile de trouver les solutions de ce système d'équations:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{bf - ce}{bd - ae} \\ \alpha_2 &= \frac{cd - af}{bd - ae} \end{aligned} \quad (51)$$

les coefficients étant les suivants:

$$\begin{aligned} a &= \beta_0 + z_1 \beta_2 \\ b &= \frac{1}{2} z_1^2 \beta_2 \\ c &= p_1 - \beta_1 \\ d &= (z_2 - z_1) \beta_2 \\ e &= \frac{1}{2} (z_1 - z_2) [2 \beta_0 - (z_1 - z_2) \beta_2] \\ f &= F(p_2 - p_1) - (z_1 - z_2) \beta_2 \end{aligned} \quad (52)$$

En appliquant les équations (50) et (51), on trouve qu'il est possible d'obtenir des valeurs positives pour α_1 si la spécification donnée dans la *recommande* 3.1 est satisfaite, c'est-à-dire $\beta_1 \leq 0,9p_1$. Par ailleurs les expressions (37), (39), (50) et (51) montrent que, pour des valeurs positives de α_2 , la valeur de p_0 doit satisfaire à la condition suivante:

$$p_0 < \frac{(p_2 - p_1)(1 - \beta_1) z_1}{(z_1 - z_2)(1 - p_1)} + \beta_1 \quad (53)$$

Cette contrainte doit être combinée avec celle définie par l'expression (39). Autrement dit, la valeur de p_0 doit satisfaire aux contraintes exprimées par les expressions (39) et (53). Dans la plupart des cas, la contrainte de l'expression (39) est plus stricte que celle de l'expression (53). Quand on choisit p_0 avec le signe de l'égalité dans (39), 10% de la marge temporelle de la dégradation sont attribués aux brouillages. Si, en revanche, la contrainte de l'expression (53) est la plus stricte et si la valeur résultante de p_0 est inférieure à la valeur effective trouvée pour l'application pratique, le système n'a aucune tolérance aux brouillages, ou encore les objectifs du système ne peuvent pas être réalisés, même en l'absence de brouillages. Dans ce cas, il faut revoir les paramètres du système.

Il existe une autre façon de procéder qui est de définir un problème de minimisation qui peut être résolu par le recours à des techniques de programmation linéaire. Le problème de l'optimisation se présente alors comme suit:

Trouver le minimum de:

$$\alpha_0 = 1 - z_1 \alpha_2 - \alpha_1$$

avec les contraintes suivantes:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_0 \beta_1 + \alpha_1 \beta_0 + \alpha_1 \beta_1 + z_1 (\alpha_1 \beta_2 + \alpha_2 \beta_1) + \frac{1}{2} z_1^2 \alpha_2 \beta_2 &\leq p_1 \\ (z_1 - z_2) \left[\alpha_0 \beta_2 + \alpha_2 \beta_0 + \frac{1}{2} (z_1 + z_2) \alpha_2 \beta_2 \right] &\leq p_2 - p_1 \\ \alpha_0 = 1 - z_1 \alpha_2 - \alpha_1 \\ \alpha_k &\geq 0, \quad k = 0, 1, 2 \end{aligned} \right\} \quad (54)$$

Si une troisième dégradation, z_3 (avec $0 < z_3 < z_2 < z_1$) est spécifiée, il faut ajouter une contrainte dans le problème de minimisation défini par l'expression (54). Si l'on pose que la dégradation z_3 ne peut pas être dépassée pendant une fraction de temps supérieure à p_3 , la probabilité pour que la dégradation soit comprise entre z_3 et z_2 est donnée par:

$$P_z(z_2 \geq z \geq z_3) \leq p_3 - p_2 \quad (55)$$

On peut obtenir la valeur de cette probabilité à partir de la Fig. 4, en intégrant entre $z = z_3$ et $z = z_2$:

$$(z_2 - z_3) (\alpha_0 \beta_2 + \alpha_2 \beta_0 + \frac{1}{2} (z_2 + z_3) \alpha_2 \beta_2) \leq p_3 - p_2 \quad (56)$$

Cette contrainte, associée à la troisième dégradation z_3 , sera ajoutée aux contraintes de l'expression (54).

Ayant ainsi déterminé les valeurs de α_0 , α_1 et α_2 , on procède comme suit pour en déduire les valeurs admissibles du niveau de brouillage.

2.5 Etape 5: Détermination d'un gabarit de brouillage

D'après la Fig. 3, le brouillage à court terme provoquant une dégradation de z_1 dB ne peut pas être dépassé pendant plus de $100 \alpha_1\%$ du temps, et le brouillage à court terme provoquant une dégradation de z_2 dB ne peut pas être dépassé pendant plus de $100(\alpha_1 + (z_1 - z_2)\alpha_2)\%$ du temps. Par ailleurs, le brouillage à court terme ne doit pas provoquer de dégradations pendant $100 \alpha_0\%$ du temps.

La dégradation du rapport C/N , z_i dB, peut être reliée au brouillage admissible sous la forme d'une fraction du bruit du système:

$$\left(\frac{I}{N}\right)_i = 10^{z_i/10} - 1 \quad (57)$$

et le gabarit du brouillage peut être défini comme suit dans ce cas:

$$P\left(\frac{I}{N} \geq 10^{z_1/10}\right) \leq 100 \alpha_1 \quad \%$$

$$P\left(\frac{I}{N} \geq 10^{z_2/10}\right) \leq 100 [\alpha_1 + (z_1 - z_2) \alpha_2] \quad \%$$

$$P\left(\frac{I}{N} \geq 0\right) \leq 100 (1 - \alpha_0) \quad \%$$

Cette détermination des marges du brouillage à court terme repose sur le fait que deux critères doivent être satisfaits en ce qui concerne la dégradation admissible des rapports C/N , z_1 et z_2 . Considérons maintenant le cas où l'on spécifie une autre dégradation: $z_3 < z_2 (< z_1)$. Alors, puisque la fonction de densité de probabilité intégrée doit être égale à l'unité, la probabilité de dépassement de cette troisième dégradation peut être déterminée par intégration de la fonction de densité de probabilité entre zéro et z_3 (voir la Fig. 4), soit:

$$P\left(\frac{I}{N} \geq 10^{z_3/10}\right) \leq 100 \left[1 - \left(\alpha_0 \beta_0 + z_3 (\alpha_0 \beta_2 + \alpha_2 \beta_0) + \frac{z_3^2}{2} \alpha_2 \beta_2 \right) \right] \quad \%$$

2.6 Etape 6: Réseaux brouilleurs multiples

Si l'on a affaire à plus d'un réseau brouilleur, on peut procéder comme suit pour évaluer, en première approximation, les pourcentages de temps pendant lesquels chaque réseau peut être autorisé à dépasser les niveaux de brouillage admissibles: diviser par le nombre de réseaux brouilleurs les pourcentages de temps fournis par la formule (58) et, le cas échéant, par la formule (59).

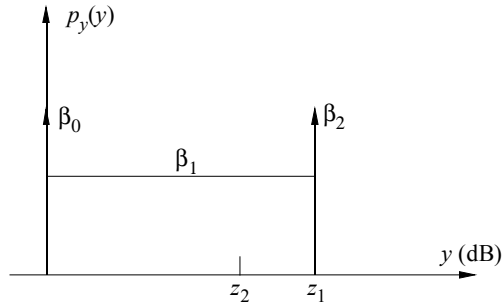
3 Perfectionnement possible de la Méthode A'

Il est possible d'affiner la Méthode A' en modélisant comme suit la fonction de densité de probabilité des évanouissements:

$$p_x(x) = p_0 \delta(x) + 0,01 \begin{cases} \exp(a_2 + b_2 x) & \text{pour } x < z_3 \\ \exp(a_1 + b_1 x) & \text{pour } x \geq z_3 \end{cases} \quad (60)$$

Par ailleurs, on admet que la fonction de densité de probabilité des brouillages peut, ici également, être représentée par le graphique de la Fig. 14.

FIGURE 14
Fonction de densité de probabilité de la dégradation due aux brouillages



1323-14

On obtient la formule suivante pour $p_z(z)$:

$$p_z(z) = \begin{cases} \beta_0 p_0 \delta(z) & \text{pour } z = 0 \\ \beta_1 p_0 + 0,01 \beta_0 \exp(a_2 + b_2 z) + \frac{0,01}{b_2} \beta_1 \exp(a_2) (\exp(b_2 z) - 1) & \text{pour } 0 < z < z_1 \\ \left[\beta_2 p_0 + 0,01 \beta_0 \exp(a_2 + b_2 z_1) + \frac{0,01}{b_2} \beta_1 \exp(a_2) (\exp(b_2 z) - 1) \right] \delta(z - z_1) & \text{pour } z = z_1 \\ 0,01 \beta_2 \exp[a_2 + b_2(z - z_1)] \\ + \frac{0,01}{b_2} \beta_1 \exp(a_2) [\exp(b_2 z) - \exp(b_2(z - z_1))] \\ + 0,01 \beta_0 \exp(a_2 + b_2 z) & \text{pour } z_1 < z \leq z_3 \\ 0,01 \beta_0 \exp(a_1 + b_1 z) + 0,01 \beta_2 \exp[a_2 + b_2(z - z_1)] \\ + \frac{0,01}{b_1} \beta_1 \exp(a_1) [\exp(b_1 z) - \exp(b_1 z_3)] \\ + \frac{0,01}{b_2} \beta_1 \exp(a_2) [\exp(b_2 z_3) - \exp(b_2(z - z_1))] & \text{pour } z_3 < z < z_1 + z_3 \\ 0,01 \beta_0 \exp(a_1 + b_1 z) + 0,01 \beta_2 \exp[a_1 + b_1(z - z_1)] \\ + \frac{0,01}{b_1} \beta_1 \exp(a_1) [\exp(b_1 z) - \exp(b_1(z - z_1))] & \text{pour } z \geq z_1 + z_3 \end{cases} \quad (61)$$

On obtient les valeurs de a_1 , b_1 , a_2 et b_2 en appliquant la méthode de l'erreur minimum des moindres carrés. En satisfaisant aux conditions imposées à $p_z(z)$, on obtient les valeurs de β_0 , β_1 et β_2 .

Ces conditions sont les suivantes:

$$p(z \geq z_1) \leq p_1$$

$$p(z_2 \leq z < z_1) \leq p_2 - p_1$$

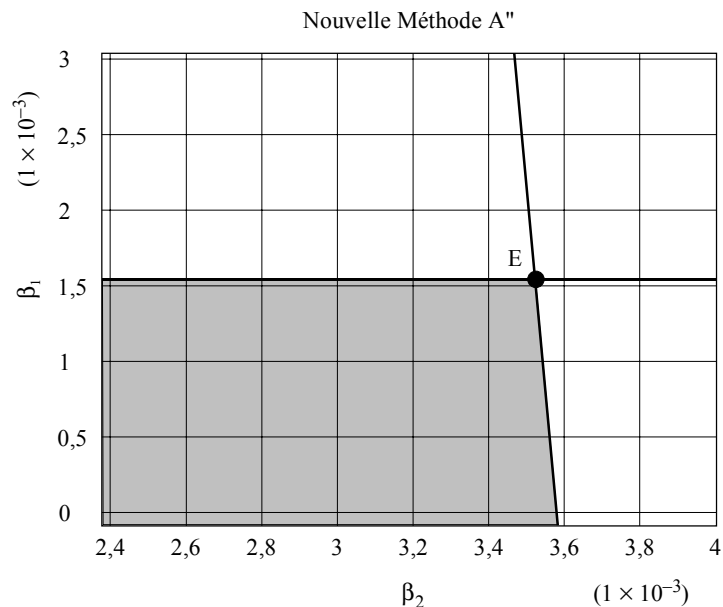
et

$$\int_{-\infty}^{+\infty} p_y(y) dy = 1 \quad \beta_0 = 1 - z_1 \beta_1 - \beta_2$$

La Fig. 15 montre le domaine occupé par les réponses pour β_1 et β_2 . Le choix du point E dans cette Figure permet d'obtenir les valeurs de β_1 et β_2 . Ce choix est fait de telle manière que la valeur de β_0 soit minimale. Avec la détermination des valeurs de ces paramètres, la fonction de densité de probabilité de la dégradation se trouve complètement spécifiée.

FIGURE 15

Solutions pour β_1 et β_2 ($A_{0,01} = 12,5$ dB)



1323-15

PARTIE 3

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 à court terme 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), (associée au *recommande* 3.1), on peut certainement affecter une fraction ($1/n$) de la marge de

temps à court terme prévue pour les phénomènes de brouillage et $(1/n)$ de la puissance du signal brouilleur à long terme 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) et à des systèmes du SFS 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. De plus, pour satisfaire à la spécification du *recommande* 3.2, à savoir que les brouillages ne doivent pas entraîner plus d'une perte de synchronisation tous les x jours, il convient que la puissance du signal brouilleur soit maintenue au-dessous d'un niveau qui conduirait à une valeur de C/N inférieure de z_s dB à la valeur nécessaire pour obtenir la valeur seuil de TEB.

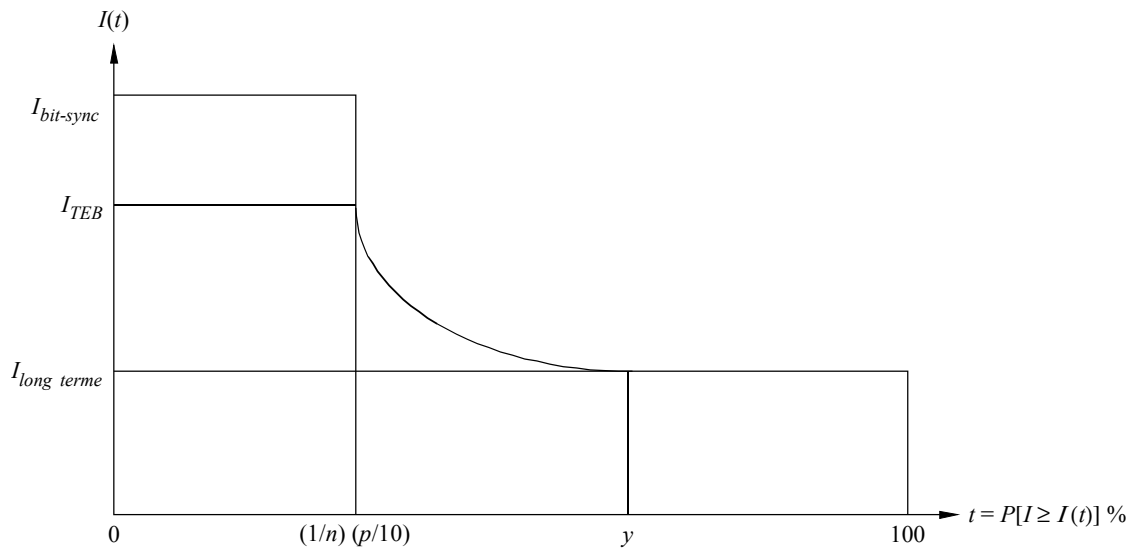
Hypothèse 2a (brouillages à court terme): Lorsque n systèmes partageant la même partie du spectre avec le système utile sont susceptibles d'occasionner des brouillages à ce dernier, la marge de temps affectée à chaque système est égale à $1/n$ de la marge de temps totale prévue pour les brouillages ($1/n$ 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. 16. Considérons les brouillages captés par un système LEO A et causés par un réseau OSG de type OSG 13. Ce système fait intervenir une commande de puissance adaptative sur la liaison montante et des stations terriennes relativement petites (antenne de 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. 16, 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 de la valeur maximale ci-dessus. 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.

FIGURE 16

Représentation du gabarit de brouillage pour une seule source de brouillage



1323-16

Hypothèse 2b (brouillages à long terme): Lorsque n systèmes partageant la même partie du spectre avec le système utile sont susceptibles de causer des brouillages, pendant de grands pourcentages de temps, les niveaux des brouillages cumulatifs s'additionnent en puissance. Il convient par conséquent d'affecter à chaque système $1/n$ de la marge de puissance totale prévue pour les brouillages à long terme, ce qui équivaut à $x\%$ de la puissance de bruit totale par ciel clair. Cette valeur ne doit pas être dépassée pendant plus de $y\%$ du temps (voir la Note 1).

NOTE 1 – Il reste à déterminer les valeurs de $x\%$ et de $y\%$. On a proposé les valeurs suivantes: ($x = 2, y = 4$), ($x = 6, y = 10$) et ($x = 6, y = 90$).

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

- 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 .
- Rapport $(C/N)_{CS}$.
- 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 1: A partir des données a) et b) calculer:

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

Etape 2: Calculer la marge de brouillage découlant de la spécification de la valeur seuil de TEB. A partir des Hypothèses 1 et 2:

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

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

$$P[I \geq (10^{(z_t/10)} - 1) N_T] \leq (1/n) (p/10) \quad \% \quad (66)$$

Etape 3: Calculer la marge de brouillage découlant de la condition de synchronisation. A partir de z_t , calculer:

$$z_{bit-sync} = z_t + z_s \quad \text{dB} \quad (67)$$

$$P(y_{SE} \geq z_{bit-sync}) = 0 \quad \% \quad (68)$$

ou

$$P[I \geq (10^{(z_{bit-sync}/10)} - 1) N_T] = 0 \quad \% \quad (69)$$

Etape 4: Calculer la marge de brouillage découlant de la condition à long terme:

$$P[y_{SE} \geq 10 \log(1 + x/(100n))] \leq y \quad \% \quad (70)$$

ou

$$P[I \geq (x/(100n)) N_T] \leq y \quad \% \quad (71)$$

Etape 5: En conséquence, le niveau admissible du gabarit de brouillage, dans le cas d'une seule source de brouillage, a pour expression (voir la Fig. 16):

$$I(t) = \begin{cases} I_{bit-sync} & 0 \leq t < (1/n)(p/10) \\ I_{TEB} - (I_{TEB} - I_{long\ terme}) \frac{\log(t) - \log((1/n)(p/10))}{\log(y) - \log((1/n)(p/10))} & (1/n)(p/10) \leq t < y \\ I_{long\ terme} & y \leq t < 100 \end{cases} \quad (72)$$

où:

$I(t)$: (dBW)

t : pourcentage de temps

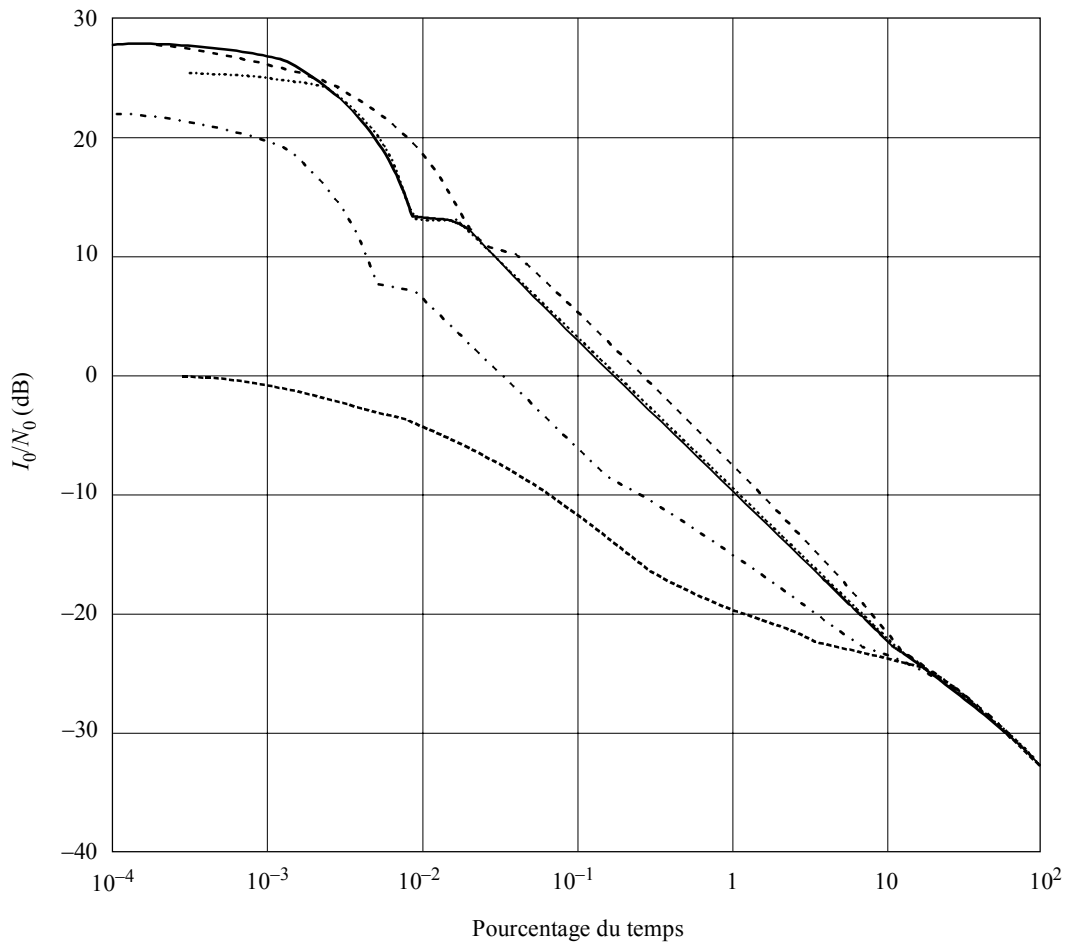
$$I_{bit-sync} = 10 \log [(10^{((z_t + z_s)/10)} - 1) N_T] \quad (73)$$

$$I_{TEB} = 10 \log [(10^{(z_t/10)} - 1) N_T] \quad (74)$$

$$I_{long\ terme} = 10 \log [(x/(100n)) N_T] \quad (75)$$

FIGURE 17

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



Longitude relative	Elévation OSG
—	53°
- - -	50°
· · · · ·	33°
- · - · -	18°
- · - · - · -	8°

1323-17

4 Exemple 1 de la Méthode B: (système LEO A)

Les caractéristiques du système LEO A sont exposées dans la Recommandation UIT-R S.1328. Dans cet exemple, les marges du brouillage admissible sont calculées pour des liaisons montantes OSG hypothétiques exploitées dans la bande des 30 GHz. Les données requises pour calculer les marges de brouillage sont:

- a) $TEB_t = 1 \times 10^{-5}$ 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) $z_t = (C/N)_{cs} - (C/N)_t = 10,7 - 6,4 = 3,1$ dB
 c) Il en résulte que la marge de brouillage pour un seul signal brouilleur devient, avec l'hypothèse $z_s = 2$ dB:

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

$$P[I/N_T \geq 3,5 \text{ dB}] = 0 \quad \%$$

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

$$P[I/N_T \geq 10 \log (x/(100 n)) \text{ dB}] \leq y \quad \%$$

et

$$I(t)/N_T = \begin{cases} 3,5 & 0 \leq t < (1/n) 0,01 \\ 0,2 - [(0,2 - 10 \log (x/(100 n)))] \frac{\log (t) - \log ((1/n) 0,01)}{\log (y) - \log ((1/n) 0,01)} & (1/n) 0,01 \leq t < y \\ 10 \log [x/(100 n)] & y \leq t < 100 \end{cases}$$

- d) Il reste à déterminer n . La Fig. 18 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 inférieur à la marge du brouillage total ($I/N = 0,2$ dB ne doit pas être dépassé pendant plus de 0,01% du temps).

5 Exemple 2 de la Méthode B: (système LEO B)

Les caractéristiques du système LEO B sont exposées dans la Recommandation UIT-R S.1328. Les données requises pour le calcul des marges de brouillage sont:

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

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

$$P[I/N_T \geq 3,3 \text{ dB}] = 0 \quad \%$$

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

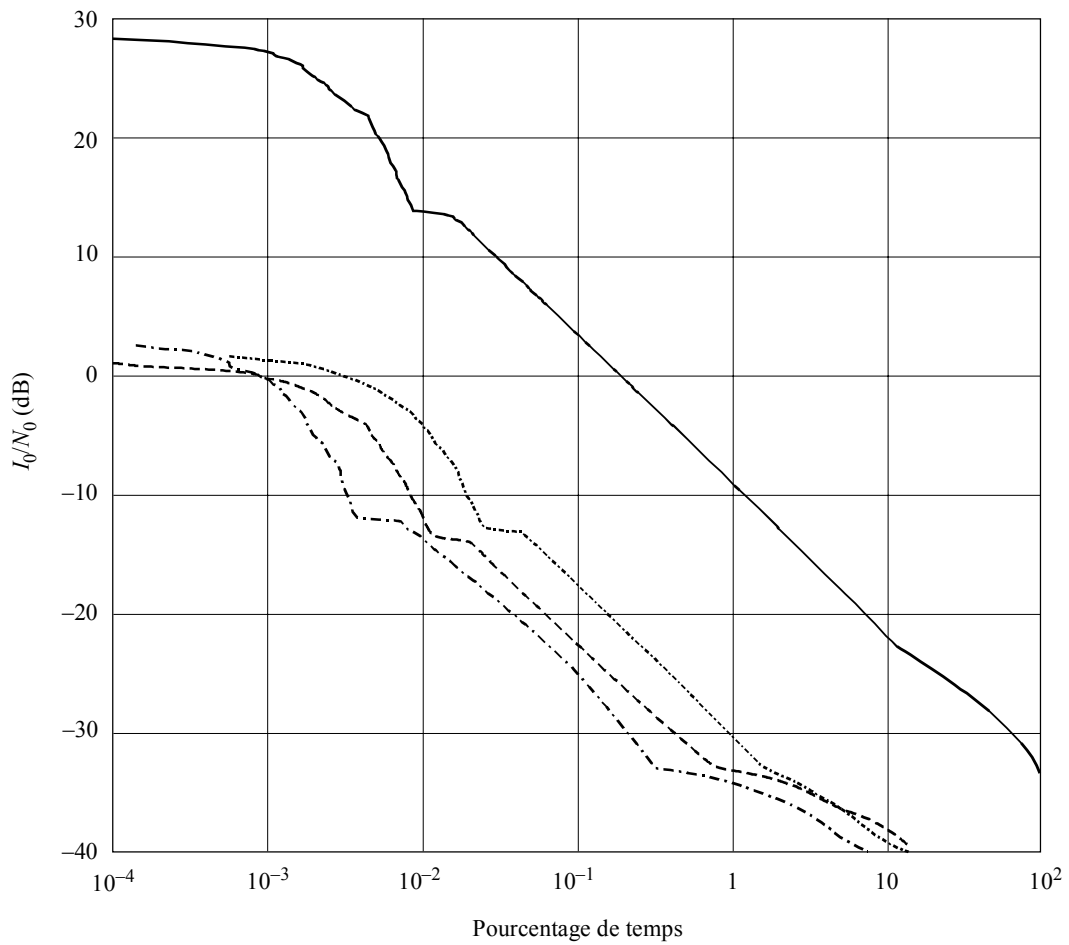
$$P[I/N_T \geq 10 \log (x/(100 n)) \text{ dB}] \leq y \quad \%$$

et

$$I(t)/N_T = \begin{cases} 3,3 & 0 \leq t < (1/n) 0,01 \\ 10 \log (x/(100 n)) \frac{\log (t) - \log ((1/n) 0,01)}{\log (y) - \log ((1/n) 0,01)} & (1/n) 0,01 \leq t < y \\ 10 \log (x/(100 n)) & y \leq t < 100 \end{cases}$$

On trouvera dans l'Annexe 4 la description d'une procédure pour l'application de la Méthode B au calcul des limites à prévoir pour la puissance surfacique équivalente (epfd).

FIGURE 18
 Statistiques de probabilité cumulative de brouillages sur une liaison montante
 de système LEO A causés par le système GSO 13



Longitude relative	Elévation OSG	Station terrienne non OSG
—	53°	Même emplacement
- - -	53°	Non OSG 5° N
· · · · ·	33°	Non OSG 5° N
- · - · -	18°	Non OSG 5° N

APPENDICE 1

À L'ANNEXE 1

**Méthode permettant de tenir compte du bruit thermique
sur la liaison montante dans les systèmes à satellites
équipés de répéteurs transparents**

Dans le cas d'un répéteur de satellite transparent, une partie du bruit du système dans le récepteur de la station terrienne a pour origine le bruit thermique présent sur la liaison montante; les évanouissements sur la liaison descendante ont pour effet de réduire ce bruit. Il en résulte une diminution de la marge admissible pour les affaiblissements dus à la pluie. La procédure décrite ci-après est proposée pour faire l'estimation de la dégradation résultante.

Par ciel clair, la puissance de la porteuse de la liaison descendante appliquée au récepteur de la station se détermine à partir de l'expression:

$$C_{cs} = P_t + G_t^S - L_{BE} - 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) + G_r^E \quad \text{dBW} \quad (76)$$

où:

- P_t : puissance d'émission du satellite (dBW)
- G_t^S : gain maximum de l'antenne d'émission du satellite (dB)
- L_{BE} : affaiblissement à la limite du faisceau (dB)
- λ : longueur d'onde (km)
- d : longueur du trajet pour le plus petit angle de fonctionnement (km)
- G_r^E : gain de l'antenne de réception de la station terrienne (dB).

La puissance de bruit de système de la station terrienne a pour expression:

$$N = 10 \log (k T_{sys} B) \quad \text{dBW} \quad (77)$$

où:

- k : constante de Boltzman = $1,3807 \times 10^{-23}$ J/K,
- B : largeur de bande occupée par la porteuse
- T_{sys} : température de bruit du système, incluant le bruit provenant du récepteur de la station terrienne, T_{\downarrow} , et la contribution du bruit thermique sur la liaison montante vers le satellite, T_{\uparrow} , diminuée du gain de transmission, γ (dB):

$$T_{sys} = T_{\downarrow} + 10^{\gamma/10} T_{\uparrow} \quad (78)$$

et

$$\begin{aligned} T_{\downarrow} &= 10^{(G_r^E - (G/T)_E)/10} \\ T_{\uparrow} &= 10^{(G_t^S - (G/T)_S)/10} \end{aligned} \quad (79)$$

A partir des formules (77) et (78), le rapport C/N par ciel clair en l'absence d'évanouissements et le rapport C/N diminué d'un taux d'évanouissement F peuvent être exprimés sous forme linéaire:

$$\begin{aligned} \left(\frac{C}{N}\right)_{unfaded} &= \frac{10^{C_{cs}/10}}{k T_{sys}^{unfaded} B} \\ \left(\frac{C}{N}\right)_{faded} &= \frac{10^{C_{cs}/10} / F}{k T_{sys}^{faded} B} \end{aligned} \quad (80)$$

où:

$$\begin{aligned} T_{sys}^{unfaded} &= T_{\downarrow} + 10^{\gamma/10} T_{\uparrow} \\ T_{sys}^{faded} &= T_{\downarrow} + 10^{\gamma/10} T_{\uparrow} / F \end{aligned} \quad (81)$$

Le rapport de C/N sans évanouissements à C/N avec évanouissements est la dégradation Z_1 , exprimée sous forme linéaire. L'évanouissement (dB) qui donne ce rapport de dégradation Z_1 a donc pour expression:

$$f = 10 \log \left(\frac{Z_1 T_{\downarrow} + (Z_1 - 1) 10^{\gamma/10} T_{\uparrow}}{T_{\downarrow}} \right) \quad (82)$$

En appliquant l'équation (39) de la Méthode A', il est alors possible de déterminer la fraction de temps β_1 pendant laquelle une dégradation x_1 dB du rapport C/N peut être dépassée, c'est-à-dire $\beta_1 = p_A$ avec $A_p \equiv x_1 \equiv f$.

ANNEXE 2

Procédure pour l'évaluation des critères de brouillage en relation avec le *recommande 3.1* de la présente Recommandation

1 Introduction

On trouvera dans cette Annexe la description d'une procédure (Procédure D) qui permet d'évaluer l'influence d'un ensemble donné de critères de brouillage sur le rapport C/N de la porteuse dans un systèmes OSG. Connaissant les statistiques des dégradations causées par les évanouissements dus à la pluie ainsi que les statistiques de la puissance surfacique équivalente sur la liaison montante ($epfd_{\uparrow}$) et de la puissance surfacique équivalente sur la liaison descendante, ($epfd_{\downarrow}$) (ces statistiques peuvent être les limites provisoires effectives ou l' $epfd$ réellement générée par un réseau non OSG donné), il est possible d'évaluer l'effet produit sur les rapports C/N effectifs et de savoir si le gabarit de brouillage satisfait aux spécifications du *recommande 3.1*. La méthode proposée peut alors être utilisée pour affiner, empiriquement, le gabarit de brouillage effectif afin de satisfaire pleinement aux spécifications du *recommande 3.1* (voir la Note 1). Elle peut servir également à vérifier que le gabarit permet à la porteuse OSG de satisfaire aux conditions qui lui sont imposées en matière de rapport C/N en fonction du pourcentage de temps.

On notera que le processus de vérification ne donne pas une forme unique pour le gabarit de l'epfd_↓ ou de l'epfd_↑. Beaucoup de formes différentes peuvent donner des résultats acceptables, satisfaisant aux spécifications des *recommande* 3, 4, 5 et 6. Il est important de tenir compte de ce fait dans l'élaboration des gabarits de l'epfd_↓ ou de l'epfd_↑.

NOTE 1 – La méthode de combinaison directe de la Procédure D peut être appliquée de diverses manières, en plus de l'application particulière décrite ici. Considérons, par exemple, une famille de réseaux OSG qui utilisent les mêmes paramètres de liaison montante, la même antenne de réception dans les stations terriennes et qui fonctionnent dans la même zone hydrométéorologique et avec la même température de bruit de système, mais avec des marges de puissance variables sur les liaisons descendantes. Pour obtenir des résultats dans le cas de cette famille de réseaux, on pourrait faire varier le niveau de puissance à l'entrée de l'antenne qui est postulé pour le satellite OSG et on pourrait considérer la marge de puissance associée sur la liaison descendante en relation avec les valeurs d'indisponibilité des réseaux OSG fournies par la Procédure D. Cela donnerait une indication de la manière dont les critères de partage des fréquences pourraient influencer sur la fonctionnement d'une famille de systèmes OSG (par exemple, des systèmes qui diffèrent uniquement par la marge de puissance ou la disponibilité sur les liaisons descendantes).

2 Hypothèses et notations

Les sources de brouillage considérées dans cette analyse sont les suivantes:

- les brouillages internes du réseau OSG considéré (bruit thermique, intermodulation, polarisations croisées, isolation, ...);
- les brouillages externes causés par d'autres réseaux OSG, et par des systèmes du service fixe;
- l'affaiblissement dû à la pluie sur les liaisons montante et descendante, et les variations de température qui en résultent;
- les brouillages causés par le système non OSG considéré (pour lequel les distributions de la puissance surfacique équivalente et de la puissance surfacique cumulative ont été calculées ou mesurées avec le maximum de précision).

On a adopté les notations suivantes:

- les notations en lettres majuscules se rapportent à des variables exprimées en dB;
- les notations en lettres minuscules se rapportent à des variables exprimées sous forme linéaire;
- b (kHz) désigne la largeur de bande de bruit de la porteuse utile;
- les caractéristiques de la liaison et de la station terrienne d'émission utile du réseau OSG sont connues, ce qui permet de calculer l'affaiblissement dû à la pluie sur la liaison montante, A_{\uparrow} , ainsi que la fonction de distribution cumulative correspondant à cet affaiblissement;
- $P_{\uparrow}(X) = P(A_{\uparrow} \leq X)$ désigne la fonction de distribution cumulative de l'affaiblissement dû à la pluie sur la liaison montante, la fonction de densité de probabilité correspondante étant $p_{\uparrow}(X) = dP_{\uparrow}(X)/dX$, soit $P(X \leq A_{\uparrow} < X + dX) = p_{\uparrow}(X)dX$;
- les caractéristiques de la liaison et de la station terrienne de réception utile du réseau OSG sont connues, ce qui permet de calculer l'affaiblissement dû à la pluie sur la liaison descendante, A_{\downarrow} , ainsi que la fonction de distribution cumulative correspondant à cet affaiblissement;
- $P_{\downarrow}(X) = P(A_{\downarrow} \leq X)$ désigne la fonction de distribution cumulative de l'affaiblissement dû à la pluie sur la liaison descendante, la fonction de densité de probabilité correspondante étant $p_{\downarrow}(X) = dP_{\downarrow}(X)/dX$, soit $P(X \leq A_{\downarrow} < X + dX) = p_{\downarrow}(X)dX$;

- les caractéristiques du réseau OSG utile sont connues, ce qui permet de calculer, comme suit (voir la Méthode A dans l'Annexe 1 à la présente Recommandation), la puissance utile de la porteuse désirée du réseau géostationnaire à l'entrée du démodulateur de la station terrienne de réception, c (W) ou C (dBW) = $10 \log (c)$:

$$C = F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$$

- les caractéristiques du réseau OSG utile sont connues, ce qui permet de calculer, comme suit (voir la Méthode A dans l'Annexe 1 à la présente Recommandation), la puissance du bruit dans la largeur de bande de bruit de la porteuse utile du réseau OSG, à l'entrée du démodulateur de la station terrienne de réception, n (W) ou N (dBW) = $10 \log (n)$:

$$N = G(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$$

- on a l'expression suivante pour la fonction de distribution cumulative du bruit thermique généré par la conjonction du Soleil, N_s , ou de la Lune:

$$P(N_s \leq X) = P_s(X)$$

- on a l'expression suivante pour la fonction de densité de probabilité correspondant à la puissance du bruit généré par le Soleil ou la Lune $p_s(X) = dP_s(X)/dX$, soit $P(X \leq N_s < X + dX) + p_s(X)dX$;

- les caractéristiques du réseau OSG utile sont connues, ce qui permet de calculer, comme suit, le gain de transmission de la liaison, γ ou $\Gamma = 10 \log (\gamma)$ entre les bornes de sortie de l'antenne de réception de la station spatiale OSG et la sortie de la station terrienne de réception utile:

$$\Gamma = H(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$$

- le système non OSG est tel que la puissance des brouillages aux bornes de sortie de l'antenne de la station spatiale OSG, I_{\uparrow} (dBW), ou son équivalent, la puissance surfacique cumulative correspondante, l'epfd_↑ (dB(W/(m² · 4 kHz))) peut être considérée comme constante;
- la composante sur l'axe du gain d'antenne G_r , ou de la station terrienne de réception utile est connue;
- la fréquence de la porteuse utile sur la liaison descendante, f (GHz), est connue;
- la fonction de distribution cumulative de la puissance surfacique équivalente, l'epfd_↓, est connue:

$$P(epfd \leq X) = P_{epfd}(X)$$

3 Procédure D

Cette procédure consiste à calculer la disponibilité du réseau en l'absence des niveaux de puissance générés par les systèmes non OSG, puis en présence de ces niveaux de puissance, et de calculer la différence entre les valeurs de ces disponibilités.

La procédure repose, par ailleurs, sur le fait que les sources des brouillages sont indépendantes mais qu'un certain niveau de corrélation est introduit parce que les évanouissements dus à la pluie agissent à la fois sur le trajet utile et sur le trajet des brouillages. De ce fait, les variables aléatoires ne peuvent pas être complètement décorrélées. Cette corrélation ne sera pas prise en compte ici et on admettra que le signal brouilleur n'est pas affecté par les évanouissements dus à la pluie.

Etape 1: Compte tenu, d'une part, des caractéristiques des stations terriennes utiles et de la station spatiale, d'autre part, de la méthode proposée dans les diverses Recommandations UIT-R pertinentes:

- déterminer l'affaiblissement dû à la pluie qui est dépassé pendant 0,01% d'une année moyenne sur la liaison montante: $A_{\uparrow,0,01}$ (dB): $P(A_{\uparrow} > A_{\uparrow,0,01}) = 0,01\%$;
- déterminer l'affaiblissement dû à la pluie qui est dépassé pendant 0,01% d'une année moyenne sur la liaison descendante: $A_{\downarrow,0,01}$ (dB): $P(A_{\downarrow} > A_{\downarrow,0,01}) = 0,01\%$.
- NOTE 1 – Les algorithmes du modèle Crane (autre modèle pour l'affaiblissement dû à la pluie) ont aussi été inclus dans le logiciel mis au point.

Etape 2: D'après les indications de la Recommandation UIT-R P.618, déterminer la fonction de distribution cumulative des évanouissements dus à la pluie respectivement sur la liaison montante et sur la liaison descendante:

$$P_{A_{\uparrow}}(X) = P(A_{\uparrow} \leq X) = 1 - \frac{10^{11,628 \left(0,546 + \sqrt{0,298 + 0,172 \log(0,12 \times A_{\uparrow,0,01}/X)} \right)}}{100}$$

$$P_{A_{\downarrow}}(X) = P(A_{\downarrow} \leq X) = 1 - \frac{10^{11,628 \left(0,546 + \sqrt{0,298 + 0,172 \log(0,12 \times A_{\downarrow,0,01}/X)} \right)}}{100}$$

NOTE 1 – Le modèle Crane (autre modèle pour l'affaiblissement dû à la pluie) est aussi présent dans le logiciel de calcul.

Etape 3: Sur la base de l'Etape 2, déterminer la fonction de densité de probabilité de l'affaiblissement dû à la pluie sur la liaison montante et sur la liaison descendante:

$$p_{\uparrow}(X) = \frac{dP_{A_{\uparrow}}(X)}{dX} = \frac{1,000008}{100} \times \frac{10^{11,628 \left(-0,546 + \sqrt{0,298 + 0,172 \log(0,12 \times A_{\uparrow,0,001}/X)} \right)}}{\sqrt{0,298 + X \times 0,172 \log(0,12 \times A_{\uparrow,0,001}/X)}}$$

et

$$p_{\downarrow}(X) = \frac{dP_{A_{\downarrow}}(X)}{dX} = \frac{1,000008}{100} \times \frac{10^{11,628 \left(-0,546 + \sqrt{0,298 + 0,172 \log(0,12 \times A_{\downarrow,0,001}/X)} \right)}}{\sqrt{0,298 + X \times 0,172 \log(0,12 \times A_{\downarrow,0,001}/X)}}$$

Etape 4: D'après les caractéristiques du réseau OSG et de l'environnement de brouillage existant, déterminer la fonction de distribution cumulative, P_1 , du rapport C/N utile (c'est-à-dire en l'absence du niveau des brouillages causés par les systèmes non OSG).

Le rapport de la puissance utile totale au bruit peut s'exprimer comme une fonction des affaiblissements dus à la pluie sur la liaison montante et sur la liaison descendante:

$$(C/N)(A_{\uparrow}, A_{\downarrow}) = F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow}) - 10 \log \left[10^{G(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})/10} + 10^{(N_s - A_{\downarrow})/10} \right]$$

d'où:

$$P_1(C/N \leq X) = 1 - P_1(C/N > X)$$

et

$$P_1(C/N \leq X) = 1 - \int_0^{A_{\uparrow,1}} p_{\uparrow}(U) \left[\int_0^{A_{\downarrow,1}(U)} p_{\downarrow}(V) \cdot P_S \left(10 \log \left[10^{(F(U,V)-X)/10} - 10^{G(U,V)/10} \right] + V \right) dV \right] dU$$

où:

$A_{\uparrow,1}$ est tel que $F(A_{\uparrow,1}, 0) - G(A_{\uparrow,1}, 0) = X$ (c'est-à-dire $C/N = X$, pour les raisons suivantes: présence d'évanouissements dus à la pluie uniquement sur le trajet de la liaison montante, absence de ces évanouissements sur la liaison descendante et absence de brouillages dus à des corps extraterrestres)

$A_{\downarrow,1}(U)$ est tel que $F(U, A_{\downarrow,1}) - G(U, A_{\downarrow,1}) = X$ (c'est-à-dire $C/N = X$, pour les raisons suivantes: présence d'évanouissements dus à la pluie uniquement sur le trajet de la liaison montante et sur le trajet descendant, absence de brouillages dus au Soleil).

Etape 5: Déterminer la fonction de densité de probabilité de l'epfd_↓ et de l'epfd_↑ générées par le ou (les) système(s) non OSG(s):

La puissance des brouillages, I (dBW) dus au(x) système(s) non OSG(s) a alors pour expression:

$$I(A_{\uparrow}, A_{\downarrow}) = 10 \log \left[10^{(I_{\uparrow} + H(A_{\uparrow}, A_{\downarrow}))/10} + 10^{(epfd + K_1 - A_{\downarrow})/10} \right]$$

où:

$$K_1 = 10 \log (b/4) + G_r + 10 \log (\lambda^2/4 \pi), \text{ est une constante (dBm}^2\text{)}$$

$$\lambda = c/f, \text{ désigne la longueur d'onde (m).}$$

Etape 6: Déterminer la fonction de distribution cumulative, P_2 , du rapport de la porteuse à la somme bruit plus brouillages, $C/(N + I)$, c'est-à-dire compte tenu de la présence du système non OSG.

Le rapport puissance utile totale/bruit plus brouillages peut s'exprimer en fonction de l'affaiblissement dû à la pluie sur les liaisons montante et descendante:

$$(C/(N + I))(A_{\uparrow}, A_{\downarrow}) = F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow}) - 10 \log \left[10^{G(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})/10} + 10^{(N_s - A_{\downarrow})/10} + 10^{(I_{\uparrow} + \Gamma(A_{\uparrow}, A_{\downarrow}))/10} + 10^{(epfd + K_1 - A_{\downarrow})/10} \right]$$

D'où:

$$P_2(C/(N + I) \leq X) = 1 - P_2(C/(N + I) > X)$$

et

$$P_2(C/N \leq X) = 1 - \int_0^{A_{\uparrow,1}} p_{\uparrow}(U) \left(\int_0^{A_{\downarrow,1}(U)} p_{\downarrow}(V) \left[\int_{-\infty}^{N_{s,1}(U,V)} p_s(N) \cdot P_{epfd}(epfd(U, V, N)) dN \right] dV \right) dU$$

où:

$N_{s,1}(U, V) = 10 \log \left[10^{(F(U, V) - X)/10} - 10^{G(U, V)/10} \right] + V$: puissance du bruit d'origine extraterrestre qui, pour les évanouissements, U , sur la liaison montante et les évanouissements, V , sur la liaison descendante, et en l'absence de brouillages dus au(x) système(s) OSG(s), entraînerait: $C/N + I = X$

$epfd_{\downarrow}(U, V, N) = 10 \log \left[10^{(F(U, V) - X)/10} - 10^{G(U, V)/10} - 10^{(N - V)/10} - 10^{(I_{\uparrow} + H(U, V))/10} \right] - K_1 + V$: epfd telle que $C/(N + I) = X$, connaissant l'affaiblissement dû à la pluie sur les liaisons montante et descendante (U et V), ainsi que la puissance des brouillages (N) dus aux corps extraterrestres.

Etape 7: Déterminer l'augmentation de l'indisponibilité entre le cas avec absence du (des) système(s) non OSG et le cas avec présence de ce (ces) système(s):

$$\Delta X = P_2(X) - P_1(X)$$

Etape 8: Déterminer la diminution relative, $R_v(X)$ (%), de la disponibilité résultant de la prise en compte du ou (des) système(s) non OSG:

$$R_v(X) = 100 \frac{\Delta(X)}{P_2(X)} = 100 \frac{P_2(X) - P_1(X)}{P_2(X)}$$

L'Appendice 1 de cette Annexe présente l'algorithme du logiciel qui met en œuvre les Etapes de 1 à 8.

3.1 Procédure D avec combinaison directe

Il est possible de simplifier les expressions données ci-dessus, moyennant certaines hypothèses. L'applicabilité de cette version avec combinaison directe est limitée à certains cas, parce qu'on ne peut pas ici tenir compte simultanément des évanouissements dus à la pluie qui sont présents sur la liaison montante et sur la liaison descendante. La méthode peut donner des résultats exacts pour des satellites fonctionnant avec traitement dans le cas où il est possible de séparer les dégradations se produisant respectivement sur les deux liaisons. Elle peut aussi donner des résultats exacts pour les liaisons par satellite transparentes, dans lesquelles on ne peut pas tenir compte des évanouissements sur la liaison montante ou des évanouissements sur la liaison descendante. Il s'agit, entre autres, de liaisons sur lesquelles on a, dans le sens montant, une régulation de puissance suffisante, ou de liaisons sur lesquelles on dispose d'un couplage en bande C dans ce même sens montant. La méthode peut aussi s'appliquer à des liaisons dont la station terrienne d'émission ou de réception se trouve dans une zone hydrométéorologique caractérisée par une grande sécheresse.

La formule qui suit donne le rapport de puissance porteuse/bruit sur la liaison descendante, en présence d'évanouissements dus à la pluie et de brouillages.

$$\frac{C}{N_{\downarrow}} = \frac{C_a}{(T_s + T_r) \cdot k B + I b} = \frac{C}{\frac{1}{a} (T_s + T_r) k B + I \frac{b}{a}}$$

avec:

- a : affaiblissement dû à la pluie sur la liaison utile
- b : affaiblissement dû à la pluie sur la liaison brouilleuse
- T_s : température de bruit totale du système de réception (K)
- T_r : température de bruit due à la pluie (K)
- k : constante de Boltzman
- B : largeur de bande (Hz)
- C : puissance du signal utile (W)
- I : puissance du signal brouilleur (W).

La dégradation due aux brouillages et à la pluie, Z , est égale au rapport de la puissance du bruit en présence de brouillages et de pluie (dénominateur de la formule ci-dessus) à la puissance du bruit en l'absence de pluie et de brouillages, T_s . Cette dégradation a pour expression:

$$Z = \frac{\frac{k B}{a} (T_s + T_r) + I \frac{b}{a}}{k B T_s} = \frac{1}{a} \left(1 + \frac{T_r}{T_s} \right) + \frac{I}{k B T_s} \frac{b}{a}$$

La dégradation peut être scindée en une composante due à la pluie et une composante due aux brouillages:

$$X = \frac{1}{a} \left(1 + \frac{T_r}{T_s} \right)$$

$$Y = \frac{I \frac{b}{a}}{k B T_s}$$

où X désigne la dégradation causée par la pluie et Y est le terme dû aux brouillages. Cette analyse suppose que X et Y sont indépendants l'un de l'autre, ce qui permet de faire la combinaison de leurs fonction de densité de probabilité par la Méthode A.

Le rapport $b/a = 1$ lorsque le signal brouilleur, b , et le signal utile, a , subissent les mêmes évanouissements. C'est l'hypothèse adoptée pour le calcul de l'epfd_↓ dans le cas où les évanouissements les plus importants interviennent sur la liaison descendante. C'est aussi l'hypothèse adoptée pour le calcul de l'epfd_↑.

On a $b = 1$ lorsque le signal brouilleur ne subit pas d'évanouissements. Il convient d'adopter cette hypothèse pour le calcul de l'epfd_↓ lorsque les évanouissements les plus importants interviennent sur la liaison montante.

Dans l'exposé qui précède, on suppose que les variables aléatoires X et Y sont exprimées en unités de puissance. Cela est différent de ce qui se passe dans la Méthode A, où ces variables aléatoires sont en dB. On a choisi ici les unités de puissance parce que, dans ce cas, la variable Y est une fonction du rapport b/a .

4 Exemple d'application

On utilisera ici une méthode empirique afin d'évaluer les limites à prévoir pour l'epfd_↓. On applique le logiciel aux limites provisoires de l'epfd spécifiées dans l'Article 22 du RR. Après avoir vérifié le résultat et le rapport C/N obtenu, comparé aux critères de qualité de chaque porteuse OSG, on calcule les limites de l'epfd_↓ qui satisfont aux critères de la présente Recommandation. Cette étude a été faite avec deux porteuses de TELECOM2: une porteuse AMRT et une porteuse assurant la transmission depuis la VSAT jusqu'à la station terrienne centrale.

4.1 Communication en provenance de la microstation (VSAT) – 153,6 kHz

La porteuse OSG possède les critères de qualité indiqués dans le Tableau 2. La réception se faisait sur une antenne de 3,5 m.

TABLEAU 2

Rapport C utile/ N (dB)	4,4
Pourcentage de temps pendant lequel le rapport C/N doit être dépassé	98
Rapport C utile/ N (dB)	3,8
Pourcentage de temps pendant lequel le rapport C/N doit être dépassé	99,92
Rapport C utile/ N (dB)	1,9
Pourcentage de temps pendant lequel le rapport C/N doit être dépassé	99,96

Les tests ont porté sur plusieurs ensembles de limites de l'epfd_↓. On trouvera les résultats dans le Tableau 3:

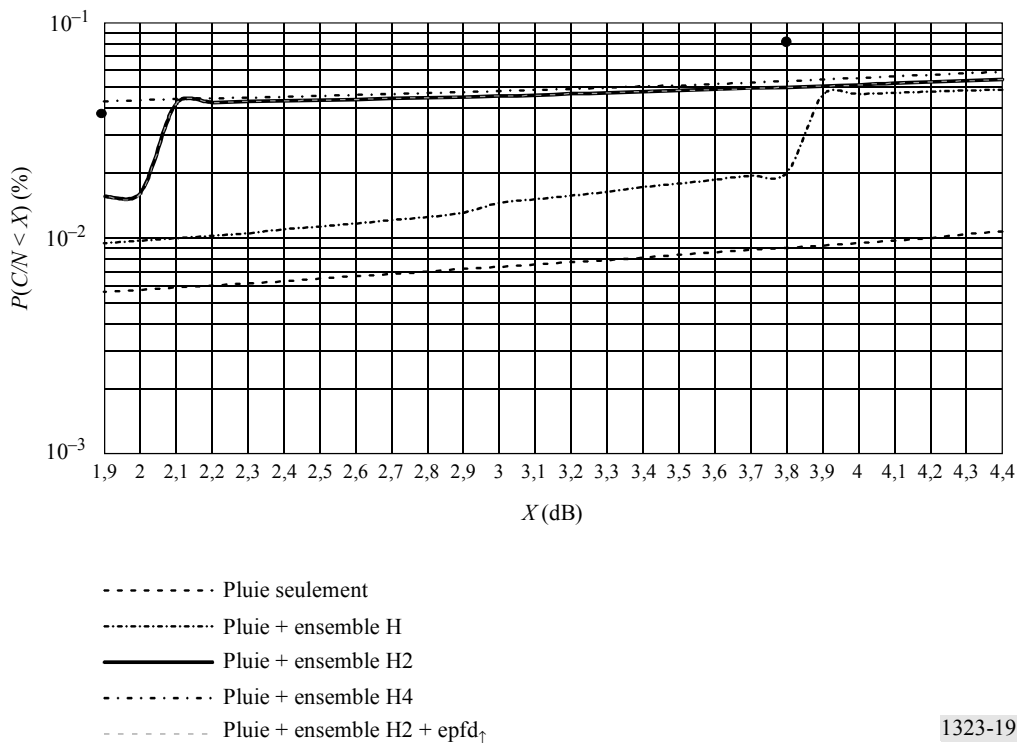
TABLEAU 3

Ensemble H		Ensemble H2		Ensemble H4	
epfd _↓ (dB(W/(m ² · 4 kHz)))	Pourcentage de temps pendant lequel l'epfd _↓ n'est pas dépassée	epfd _↓ (dB(W/(m ² · 4 kHz)))	Pourcentage de temps pendant lequel l'epfd _↓ n'est pas dépassée	epfd _↓ (dB(W/(m ² · 4 kHz)))	Pourcentage de temps pendant lequel l'epfd _↓ n'est pas dépassée
-175	99,9	-173	99,9	-172	99,9
-171	99,97	-169	99,97	-168	99,97
-161	99,999	-159	99,999	-158	99,999
-160	100	-158	100	-157	100

Les résultats de l'application de ces ensembles de limites sont donnés dans la Fig. 19.

FIGURE 19

Influence des limites de l'epfd sur la distribution de C/N, TELECOM2 - VSAT



On a obtenu les résultats suivants (voir le Tableau 4) pour l'ensemble des limites de l'epfd_↓ qui satisfont aux dispositions de la présente Recommandation.

TABLEAU 4

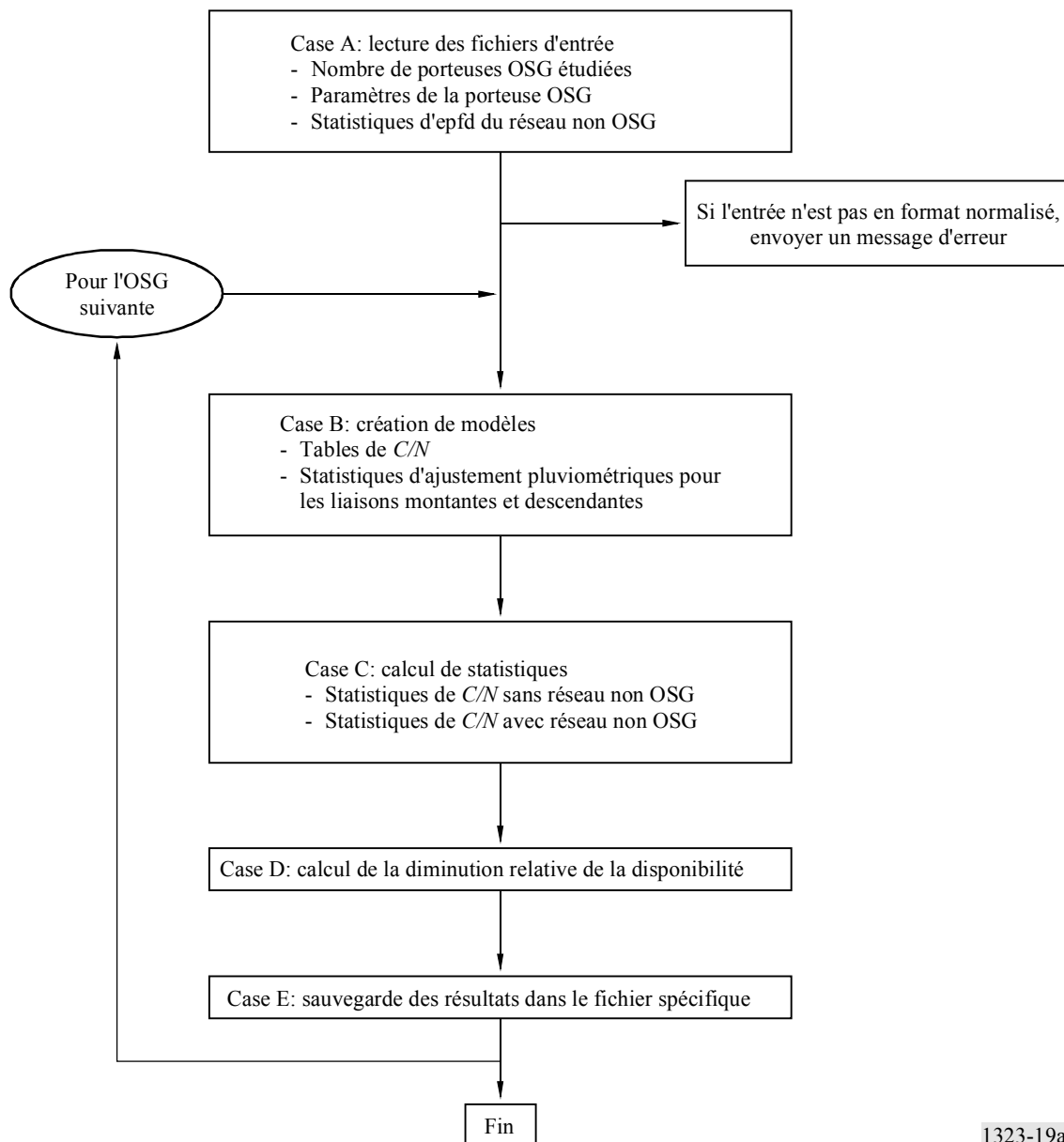
C/N	1,9	3,8	4,4
Pourcentage de temps alloué	0,04	0,08	2
Résultats avec pluie seulement	0,00563534	0,00902573	0,01073518
Pluie + ensemble H2 + epfd _↑ selon l'Article 22 du RR	0,01558573	0,05011122	0,05456822

APPENDICE 1

À L'ANNEXE 2

Algorithme du logiciel

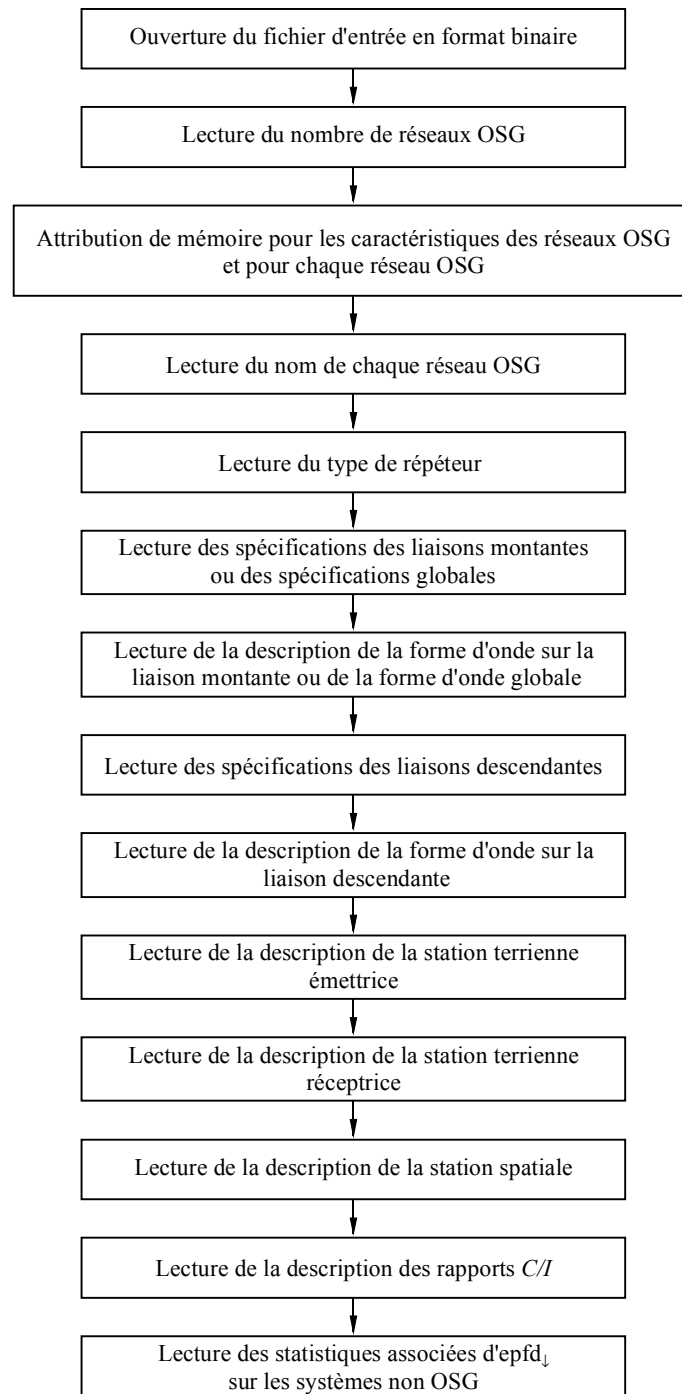
On trouvera dans cet Appendice un algorithme simplifié du logiciel mis en œuvre.

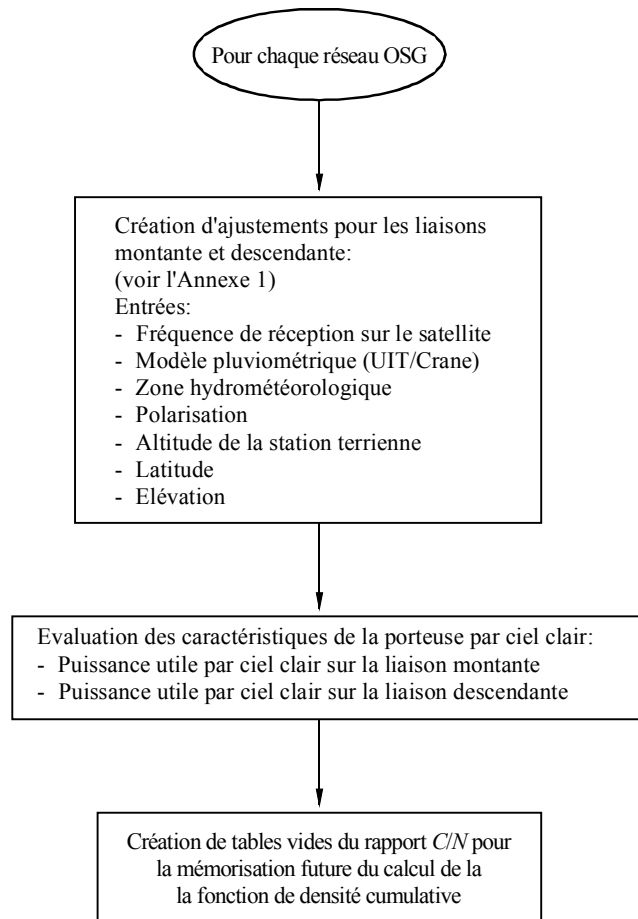
1 Algorithme général

2 Description des différentes cases

2.1 Case A: Lecture des fichiers d'entrée

La première partie du logiciel lit les différents paramètres de la porteuse OSG et les différents fichiers d'epfd_↓ des porteuses non OSG. Elle vérifie également que les paramètres normalisés sont utilisés.



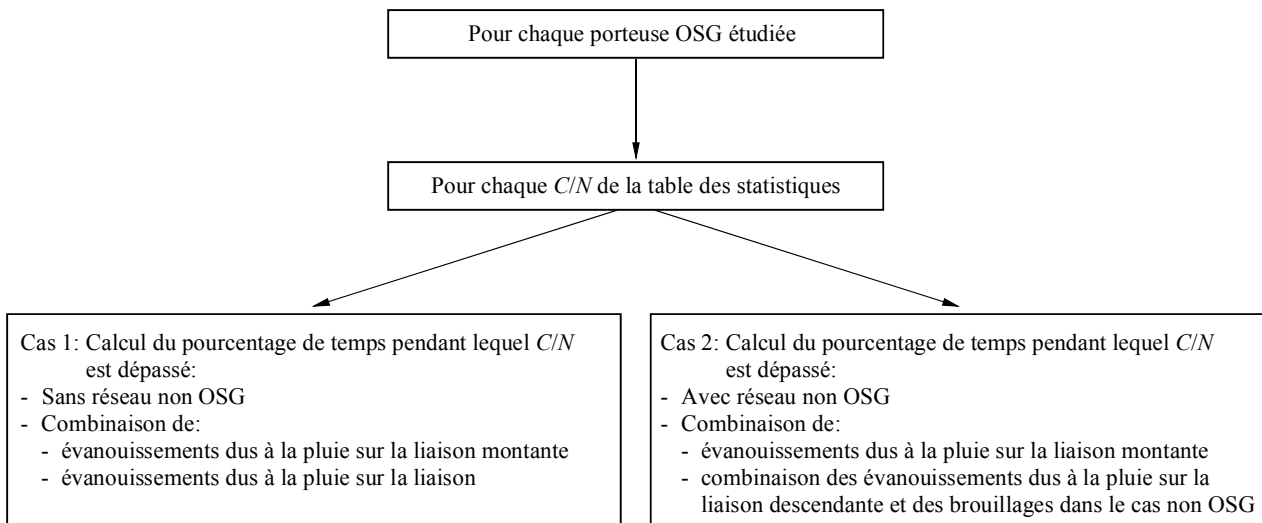


1323-19c

2.2 Case B: Création de modèles

Ce sous-programme a pour but de générer tous les modèles qui serviront par la suite à générer les statistiques de C/N . En particulier, une approximation est calculée pour les affaiblissements dus à la pluie. On trouvera dans l'Annexe 1 la description de la méthode permettant de calculer l'ajustement pluviométrique.

2.3 Case C: Calcul des statistiques de $C/(N + I)$



1323-19d

Cas 1: Fonction de densité cumulative du C/N total sans système non OSG

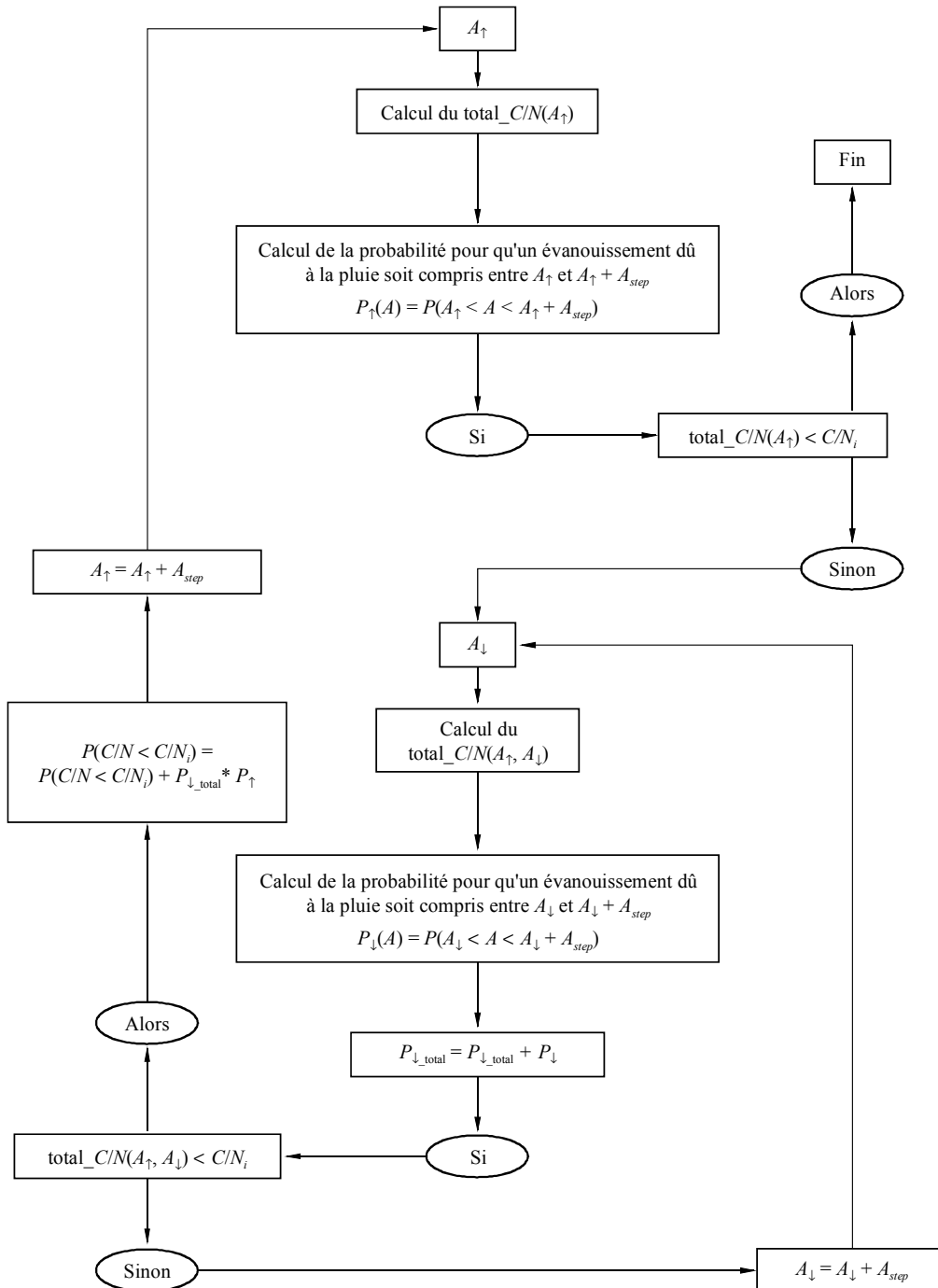
Pour chaque C/N testé, pris dans la table des rapports C/N, avec les notations suivantes:

total_C/N(A_{\uparrow}): rapport porteuse totale/bruit (C/N) de la porteuse en présence d'un affaiblissement dû à la pluie, A_{\uparrow} , sur la liaison montante et sans affaiblissement sur la liaison descendante;

total_C/N($A_{\uparrow}, A_{\downarrow}$): rapport porteuse totale/bruit (C/N), de la porteuse en présence d'un affaiblissement dû à la pluie, A_{\uparrow} , sur la liaison montante et d'un affaiblissement dû à la pluie, A_{\downarrow} , sur la liaison descendante;

C/N_i : rapport C/N pour lequel on calcule le pourcentage de temps associé;

A_{step} : échelon de calcul pour l'affaiblissement dû à la pluie.



Cas 2: Fonction de densité cumulative du C/N total système non OSG

Pour chaque C/N testé, pris dans la table des rapports C/N, avec les notations suivantes:

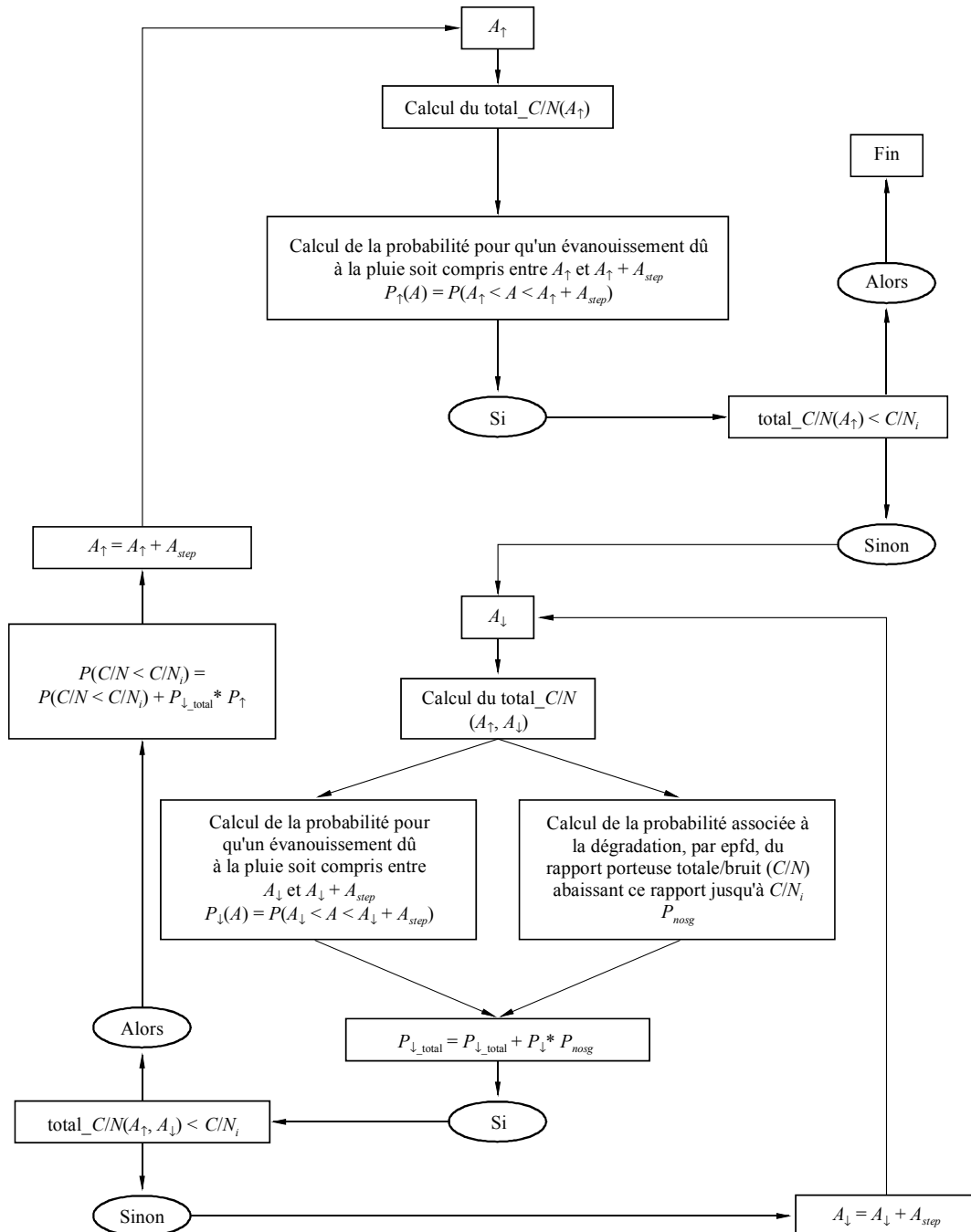
total_C/N(A_{\uparrow}): rapport porteuse totale/bruit (C/N) de la porteuse en présence d'un affaiblissement dû à la pluie A_{\uparrow} sur la liaison montante et sans affaiblissement sur la liaison descendante;

total_C/N($A_{\uparrow}, A_{\downarrow}$): rapport porteuse totale/bruit (C/N), de la porteuse en présence d'un affaiblissement dû à la pluie A_{\uparrow} sur la liaison montante et d'un affaiblissement dû à la pluie A_{\downarrow} sur la liaison descendante;

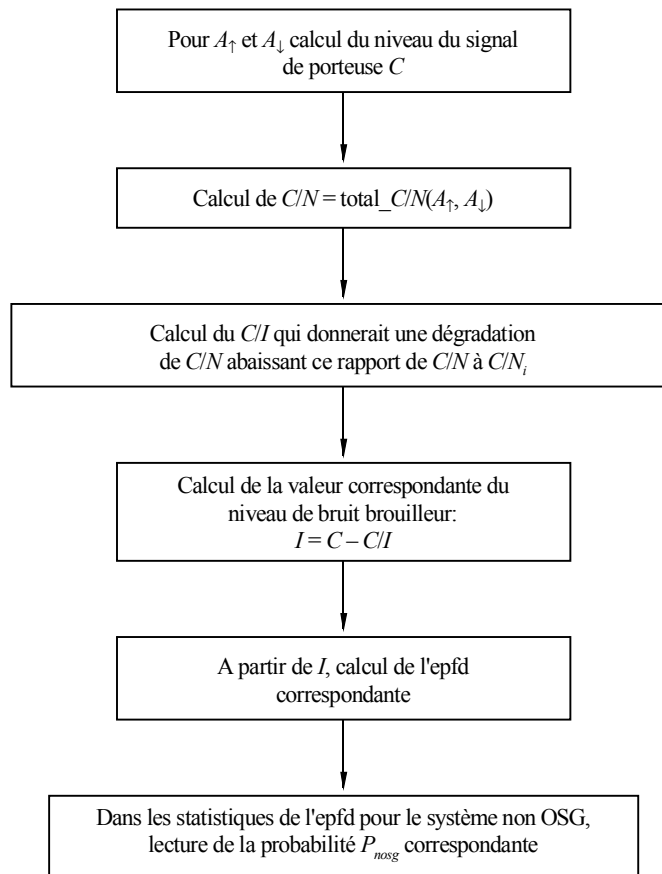
C/N_i : rapport C/N pour lequel on calcule le pourcentage de temps associé;

A_{step} : échelon de calcul pour l'affaiblissement dû à la pluie.

L'algorithme utilisé est le suivant:



L'algorithme suivant donne le détail du calcul de P_{nosg} avec les mêmes notations:



1323-19g

2.4 Case D: Calcul de la diminution relative de la disponibilité

Cette partie du logiciel détermine l'augmentation relative de l'indisponibilité résultant de la prise en compte du (des) système(s) non OSG(s), $R_v(X)$ (%):

$$R_v(X) = 100 \frac{\Delta(X)}{P_2(X)} = 100 \frac{P_2(X) - P_1(X)}{P_2(X)}$$

où P_1 désigne la probabilité d'obtention d'une valeur inférieure à un certain niveau de C/N sans système non OSG, et P_2 désigne la même probabilité avec système non OSG.

3 Description des fonctions utilisées

On trouvera ici la description des fonctions appliquées dans le logiciel mis en œuvre.

3.1 Calcul des caractéristiques de la porteuse par ciel clair

3.1.1 Calcul de la puissance utile par ciel clair sur la liaison montante

La puissance utile par ciel clair sur la liaison montante a pour expression:

$$C = p.i.r.e.\uparrow - L\uparrow + G_{rx-sat}$$

où:

$p.i.r.e.\uparrow$: p.i.r.e. sur la liaison montante

$L\uparrow$: affaiblissement de propagation total sur la liaison montante

G_{rx-sat} : gain de l'antenne de réception du satellite dans la direction de la station terrienne.

La p.i.r.e. sur la liaison montante s'obtient à partir des paramètres d'entrée:

$p.i.r.e._{\uparrow} = p.i.r.e.$, sur l'axe, de la station terrienne émettrice – perte par pointage de la station terrienne émettrice.

Les affaiblissements de propagation totaux sur la liaison montante se calculent comme suit:

$$L_{\uparrow} = L_{fs_{\uparrow}} + L_{ga_{\uparrow}}$$

où:

$L_{fs_{\uparrow}}$: affaiblissement en espace libre sur la liaison montante:

$$20 \log (4 \pi (D_{\uparrow} 1000) \cdot (Rx \text{ Freq}/0,3))$$

$L_{ga_{\uparrow}}$: affaiblissement par les gaz sur la liaison montante, calculé selon les indications de la Recommandation UIT-R P.676

D_{\uparrow} : distance jusqu'au satellite OSG:

$$6378 (6,61 \sqrt{(1,0 - \text{pow}(\cos(E_{\uparrow})/6,61, 2,0))} - \sin(E_{\uparrow}))$$

E_{\uparrow} : élévation du satellite vu de la station terrienne considéré.

3.1.2 Calcul de la puissance utile par ciel clair sur la liaison descendante

La puissance utile par ciel clair sur la liaison descendante a pour expression:

$$C = p.i.r.e._{\downarrow} - L_{\downarrow} + G_{rx-es} - P_{rx}$$

où:

P_{rx} : perte par pointage de l'antenne de la station terrienne réceptrice

G_{rx-es} : gain, sur l'axe, de la station terrienne réceptrice

L_{\downarrow} : affaiblissement de propagation total sur la liaison descendante

$p.i.r.e._{\downarrow}$: p.i.r.e. sur la liaison descendante. Cette p.i.r.e. est un paramètre d'entrée.

L'affaiblissement de propagation total sur la liaison descendante peut s'exprimer de la même façon que dans le cas de la liaison montante.

3.2 Calcul des caractéristiques de la porteuse par temps de pluie

3.2.1 Création de l'ajustement des évanouissements dus à la pluie

Cette fonction génère l'ajustement de la fonction de densité cumulative (FDC) des évanouissements dus à la pluie, afin de mener à bien l'intégration de la fonction de densité de probabilité des statistiques pluviométriques. Le modèle est dérivé du processus de modélisation de l'UIT-R:

A_{min} : affaiblissement minimum, dépassé pendant le pourcentage de temps maximum autorisé:

- 1% pour UIT-R,
- 5% pour Crane.

X, Y, Z : facteurs utilisés pour le modèle:

$$\log(FDC) = X + \sqrt{Y + Z \log(A)}$$

p : probabilité (%) de dépassement d'un affaiblissement donné, A (dB).

L'ajustement se fonde sur le calcul des différents moments de la distribution de p . En notation matricielle, on peut écrire:

$$[B] = [A] [X, Y, Z] T, [b] = [a] [Y, Z] T$$

Les données d'entrée nécessaires pour cette fonction sont les suivantes:

Fréquence: fréquence de la porteuse (GHz)

Modèle: type de modèle de pluie

Zone: région considérée

$R_{0,01}$: intensité de pluie (rain) dépassée pendant 0,01% du temps

Polar: polarisation de la porteuse

Hauteur: hauteur de la station terrienne au-dessus du niveau moyen de la mer (km)

Latitude: latitude de la station terrienne (degrés)

Élévation: angle d'élévation de la station terrienne (degrés)

Ajustement: pointeur de la structure à actualiser.

3.2.2 Calcul de la puissance utile sur la liaison montante

Cette fonction a pour but le calcul de la puissance utile d'une porteuse donnée sur la liaison montante par temps de pluie, quelle que soit la pluviosité.

Notations utilisées:

A_{\uparrow} : affaiblissement dû à la pluie sur la liaison montante (dB)

L_{\uparrow} : affaiblissement de propagation total sur la liaison montante

C : puissance utile dans la station spatiale

$G_{cs_{\uparrow}}$: affaiblissement par les gaz sur le trajet de la liaison montante par ciel clair (*clear sky*)

$G_{rain_{\uparrow}}$: affaiblissement par les gaz sur le trajet de la liaison montante par temps de pluie (affaiblissement A_{\uparrow} (dB))

UPC : régulation de puissance sur la liaison montante (*uplink power control*)

$UPCA$: précision de la régulation de puissance sur le trajet montant (*uplink power control accuracy*)

RPC : intervalle de régulation de puissance sur la liaison montante (*uplink power control range*).

La première étape dans l'application de cette fonction consiste à vérifier si la porteuse est soumise à une régulation UPC et, si oui, à calculer le niveau de cette régulation. Ce niveau se calcule par la formule suivante:

$$UPC = \text{floor}((A_{\uparrow} + G_{rain_{\uparrow}} - G_{cs_{\uparrow}}) / UPCA) UPCA$$

Si la régulation de puissance nécessaire pour combattre l'affaiblissement dû à la pluie sur la liaison montante est supérieure à l'intervalle de régulation de puissance de la porteuse considéré sur cette liaison, cette régulation prendra la valeur maximum maximorum, et alors:

$$UPC = RPC$$

La deuxième étape consiste à calculer les affaiblissements additionnels totaux dus à la pluie dans la direction du satellite. On a:

$$L_{\uparrow} = A_{\uparrow} + G_{rain_{\uparrow}}$$

On peut alors calculer la puissance utile dans la station spatiale OSG, à partir de la puissance utile par ciel clair calculée dans la section précédente. La puissance de la porteuse OSG sur la liaison montante par temps de pluie s'obtient ensuite à l'aide de la formule:

$$C_{\uparrow} = C_{cs_{\uparrow}} + UPC - L_{\uparrow}$$

3.2.3 Calcul du niveau de puissance du bruit plus brouillage sur la liaison montante

Cette fonction a pour but le calcul de l'expression $(N + I)$ de la porteuse OSG sur la liaison montante, compte tenu des contributions de toutes les sources de brouillages et d'un affaiblissement A_{\uparrow} dB dû à la pluie sur cette liaison.

Notations utilisées:

$I_{epfd_{\uparrow}}$:	rapport C/I dû à la limite considérée pour l' $epfd_{\uparrow}$
$X_{pol_{TxES}}$:	rapport C/I dû à l'isolation de polarisations croisées de la station terrienne émettrice
$Intermod_{ES}$:	rapport C/I dû à l'intermodulation de la station terrienne émettrice
$X_{pol_{SS}}$:	rapport C/I dû à l'isolation de polarisations croisées de la station spatiale OSG
$I_{asi_{\uparrow}}$:	puissance du brouillage dû aux satellites adjacents (ASI, <i>adjacent satellite interference</i>) sur la liaison montante
$I_{fs_{\uparrow}}$:	puissance du brouillage dû au partage avec le service fixe sur la liaison montante
I_{reuse} :	puissance du brouillage dû à la réutilisation des fréquences
C_{cs} :	puissance utile par ciel clair dans la station terrienne OSG
C :	puissance utile sur la liaison montante
N_{th} :	puissance du bruit thermique du satellite OSG
I :	puissance totale bruit plus brouillage
W_{\uparrow} :	largeur de bande de bruit
T_{sat} :	température du système de réception du satellite

Le rapport C/I dû à la limite considérée pour l' $epfd_{\uparrow}$ est pris en compte seulement si le calcul inclut l' $epfd_{\uparrow}$.

La régulation UPC a pour fonction de modifier le recul de puissance de l'amplificateur. Cependant, on admet ici que la modification du recul dans la station terrienne sous l'effet d'une régulation UPC éventuelle est sans effet, car on manque de données sur ce point.

On admet également que la station terrienne émettrice OSG émet sur la polarisation opposée avec, le cas échéant, le même incrément de régulation de puissance. La puissance du brouillage ne varie pas.

La première étape consiste à calculer le niveau de brouillage des variables exprimé sous la forme C/I .

On a l'expression suivante pour la puissance de brouillage dans le satellite sous l'effet des divers rapports C/I :

$$I_{C/I} = C + 10 \log (10^{-Intermod_{ES}/10} + 10^{-Xpol_{TxES}/10} + 10^{-Xpol_{SS}/10})$$

Pour $I_{asi_↑}$, $I_{fs_↑}$, I_{reuse} , on utilise le niveau de la porteuse par ciel clair pour calculer le niveau de puissance du brouillage.

On calcule ensuite la contribution de la puissance de bruit thermique du satellite:

$$N_{th} = -228,6 + 10 \log (W_{↑}) + 10 \log (T_{sat})$$

puis la valeur totale de $N + I$ sur la liaison montante:

$$I = 10^{(I_{C/I}/10)} + 10^{(I_{asi_↑}/10)} + 10^{(I_{fs_↑}/10)} + 10^{(I_{reuse}/10)} + 10^{(I_{epfd\ ↑}/10)} + 10^{(N_{th}/10)}$$

$$I_{dB} = 10 \log (I)$$

3.2.4 Calcul de la puissance utile sur la liaison descendante par temps de pluie

Cette fonction a pour but le calcul de la puissance utile, sur la liaison descendante, d'une porteuse donnée, par temps de pluie, quelle que soit la pluviosité, en présence d'un affaiblissement dû à la pluie sur les liaisons montante et descendante.

Notations utilisées:

$A_{↑}$:	affaiblissement dû à la pluie sur la liaison montante (dB)
$A_{↓}$:	affaiblissement dû à la pluie sur la liaison descendante (dB)
$C_{cs_↑}$:	puissance utile par ciel clair sur la liaison montante
$C_{cs_↓}$:	puissance utile par ciel clair sur la liaison descendante
$C_{↑}$:	puissance utile sur la liaison montante avec un affaiblissement $A_{↑}$ (dB) dû à la pluie
var_{ibo} :	variation du recul de puissance à l'entrée (<i>input back-off</i>)
var_{obo} :	variation du recul de puissance à la sortie (<i>output back-off</i>)
IBO, OBO :	IBO et OBO total par ciel clair
ibo, obo :	ibo et obo par temps de pluie
a :	pente de la courbe de variation de OBO en fonction de IBO
$Ga_{cs_↓}$:	affaiblissement par les gaz sur le trajet de la liaison descendante par ciel clair
$Ga_{↓}$:	valeur effective de l'affaiblissement par les gaz
$L_{↓}$:	affaiblissement de propagation total sur la liaison descendante
C :	puissance utile dans la station terrienne OSG
ALC :	commande automatique de niveau (<i>automatic level control</i>).

Pour des satellites OSG transparents, la première étape consiste à calculer l'OBO effectif. La variation du IBO est donnée par:

$$var_{ibo} = C_{cs_↑} - C_{↑}$$

Dans le cas du fonctionnement avec plusieurs porteuses, on admet que la variation de obo est égale à celle de ibo. En général, il est légitime d'admettre une variation entre ibo et obo mais cela peut conduire, dans certains cas, à des résultats erronés qui reviennent à sous-estimer la qualité de fonctionnement de la liaison. Considérons le cas de répéteurs qui fonctionnent dans la plage non linéaire, avec 2 à 4 porteuses par répéteur, sans régulation de puissance sur la liaison montante, les porteuses étant émises à partir du même emplacement sur la liaison montante: dans ce cas, la variation de obo provoquée par l'augmentation de ibo due à la pluie n'est pas égale. Dans des situations de ce genre, il faut améliorer la représentation des caractéristiques de transport du gain de l'amplificateur du satellite.

Dans les cas d'utilisation de la régulation automatique de niveau (ALC), on suppose qu'il y a un accès unique à partir de la station terrienne utile et IBO est alors modifié. Si la variation de IBO est plus petite que l'intervalle de ALC (ALC Range), on fait l'hypothèse que cette variation est nulle. Si la variation de IBO dépasse ALC Range, on a:

$$var_{ibo} = var_{ibo} - ALC_{Range}$$

Pour OBO = 0 dB, on admet que IBO = 0 dB, c'est-à-dire que la variation de IBO suppose une variation de OBO. La p.i.r.e. est ajustée en conséquence.

La pente de la courbe de variation de OBO en fonction de IBO est définie comme suit:

$$a = OBO/IBO$$

Pour calculer IBO, on ajoute à IBO la variation de IBO calculée plus haut:

$$ibo = IBO + var_{ibo}$$

Connaissant la pente de la courbe de variation de obo en fonction de ibo, on en déduit obo:

$$obo = a \cdot ibo$$

Enfin, on applique la formule suivante pour calculer la variation de obo dans le cas du fonctionnement avec une seule porteuse:

$$var_{obo} = obo - OBO$$

Dans l'étape suivante, on calcule l'affaiblissement dû aux gaz sur la liaison descendante, par ciel clair et par temps de pluie. Après cela, on calcule les affaiblissements additionnels totaux en direction de la station terrienne:

$$L_{\downarrow} = A_{\downarrow} + Ga_{\downarrow} - Ga_{cs,\downarrow} + var_{obo}$$

Il est facile alors de calculer la puissance utile dans la station terrienne:

$$C = C_{cs,\downarrow} - L_{\downarrow}$$

3.2.5 Calcul du niveau de puissance de l'ensemble bruit plus brouillage sur la liaison descendante

Le but de cette fonction est le calcul de la grandeur $(N + I)$ sur la liaison descendante, compte tenu des contributions de toutes les sources de brouillage à l'exception des réseaux non OSG.

Notations utilisées:

A_{\uparrow} :	affaiblissement dû à la pluie sur la liaison montante (dB)
A_{\downarrow} :	affaiblissement dû à la pluie sur la liaison descendante (dB)
I_{xpol} :	brouillages dus aux polarisations croisées
I_{asi} :	puissance des signaux brouilleurs ASI
I_{fs} :	puissance brouilleuse due au partage avec le service fixe
I_{reuse} :	puissance brouilleuse due à la réutilisation des fréquences
I_{adj} :	brouillages dus aux répéteurs adjacents
$I_{intermod}$:	puissance du bruit de brouillage dû à l'intermodulation dans le satellite
C/I_{im} :	rapport C/I pour l'intermodulation dans le satellite
C_{cs} :	puissance utile sur la liaison descendante par ciel clair, dans la station terrienne
C :	puissance utile sur la liaison descendante
N_{th} :	puissance du bruit thermique dans la station terrienne
A :	affaiblissement dû aux gaz et à la pluie sur la liaison descendante
I :	puissance totale de l'ensemble bruit plus brouillage
var_{obo} :	variation de obo
$OBO, C/I, a$:	OBO par ciel clair, rapport C/I pour l'intermodulation, pente
T_{es} :	température de bruit du système de réception de la station terrienne, y compris l'absorption dans l'atmosphère.

La première étape consiste à calculer la variation de OBO du satellite:

$$var_{obo} = C_{cs} - (C + A)$$

Pour $OBO = 0$ dB, on suppose un rapport $C/I = 11$ dB pour l'intermodulation dans le satellite. En cas d'utilisation de la régulation automatique de niveau, la puissance du bruit de brouillage généré par l'intermodulation est donnée par:

$$a = (C/I_{im} - 11)/OBO$$

$$I_{intermod} = C - (OBO + var_{obo}) a + 11$$

On trouvera ci-après le calcul des différentes sources de la puissance du bruit de brouillage:

- calcul du brouillage dû à la réutilisation des fréquences:

$$I_{reuse} = C_{cs} - C/I_{reuse} - A$$

- calcul du brouillage dû aux répéteurs adjacents:

$$I_{adj} = C_{cs} - C/I_{adjacent_transponder} - A$$

- calcul de la puissance de brouillage dû aux polarisations croisées:

$$I_{Xpol} = C + 10 \log (10^{(-C/I_{srp}/10)} + 10^{(-C/I_{erp}/10)})$$

avec:

C/I_{srp} : rapport C/I pour la polarisation croisée à la réception dans le satellite

C/I_{erp} : rapport C/I pour la polarisation croisée à la réception dans la station terrienne.

- calcul de la puissance des signaux brouilleurs ASI:

$$I_{asi} = C - C/I_{asi_d}$$

avec:

C/I_{asi_d} : rapport C/I dû aux signaux brouilleurs ASI sur le trajet de la liaison descendante

- calcul de la puissance du brouillage dû au partage avec le service fixe sur la liaison descendante:

$$I_{fs} = C - C_{fs_d}$$

- calcul de la contribution de puissance du bruit thermique de la station terrienne à l'affaiblissement:

$$N_{th} = -228,6 + 10 \log (W_{\uparrow}) + 10 \log (T_{es} + 290 (1 - 10^{(-A/10)}))$$

Pour calculer le $N + I$ total de la liaison montante, on fait la somme de toutes les contributions.

3.2.6 Calcul du rapport C/N sur la liaison montante

Le but de cette fonction est le calcul du rapport C/N de la porteuse OSG sur la liaison montante.

Notations utilisées:

A_{\uparrow} : affaiblissement dû à la pluie sur la liaison montante

C_{\uparrow} : puissance utile sur la liaison montante

I_{\uparrow} : puissance totale de l'ensemble brouillage et thermique sur la liaison montante.

Le calcul de C_{\uparrow} et I_{\uparrow} a été explicité dans les paragraphes précédents. On en déduit le rapport C/N résultant sur la liaison montante:

$$C/N_{\uparrow} = C_{\uparrow} - I_{\uparrow}$$

3.2.7 Calcul du rapport C/N sur la liaison descendante

Le but de cette fonction est le calcul du rapport C/N sur la liaison descendante.

Notations utilisées:

A_{\uparrow} : affaiblissement dû à la pluie sur la liaison montante

A_{\downarrow} : affaiblissement dû à la pluie sur la liaison descendante

C_{\downarrow} : puissance utile sur la liaison descendante

I_{\downarrow} : puissance totale de l'ensemble brouillage plus thermique sur la liaison descendante.

Le calcul de C_{\downarrow} et I_{\downarrow} a été explicité dans les paragraphes précédents. On en déduit le rapport C/N sur la liaison descendante:

$$C/N_{\downarrow} = C_{\downarrow} - I_{\downarrow}$$

3.2.8 Calcul du rapport C/N total

Le but de cette fonction est le calcul du rapport C/N total.

Si on étudie uniquement la liaison montante pour le cas de répéteurs régénérateurs, on a:

$$C/N = C/N_{\uparrow}$$

Si on étudie uniquement la liaison descendante pour le cas de répéteurs régénérateurs, on a:

$$C/N = C/N_{\downarrow}$$

Si le répéteur est du type transparent, on combine liaison montante et liaison descendante:

$$C/N = -10 \log 10^{-(C/N_{\uparrow})/10} + 10^{-(C/N_{\downarrow})/10}$$

3.2.9 Calcul de l'epfd_↓ maximum

Le but de cette fonction est le calcul de l'epfd_↓ maximum pour des valeurs données de A_{\uparrow} et A_{\downarrow} qui conduiront à une valeur donnée de C/N sur la liaison OSG. Après avoir calculé ce niveau d'epfd_↓, on vérifiera le pourcentage de temps pendant lequel il est obtenu.

Notations utilisées:

C/N_{wanted} : rapport C/N utile

A_{\uparrow} : affaiblissement dû à la pluie sur la liaison montante

A_{\downarrow} : affaiblissement dû à la pluie sur la liaison descendante

C/N : valeur actuelle de C/N sur la liaison OSG en présence des affaiblissements dus à la pluie A_{\downarrow} et A_{\uparrow}

$C, I, C/I$

K

lambda

gain

temp

epfd_max

h

p

Dans la première étape, on calcule le C/N effectif de la porteuse OSG en présence des affaiblissements dus à la pluie A_{\downarrow} et A_{\uparrow} . Le calcul a été donné dans les paragraphes précédents. Si $C/N > C/N_{wanted}$, on a:

$$C/I = -10 \log (10^{-(C/N)_{wanted}/10} - 10^{-(C/N)/10})$$

On calcule le niveau du signal de la porteuse OSG sur la liaison descendante en appliquant la procédure décrite dans les paragraphes précédents. Connaissant, d'une part, la valeur de C , d'autre part, la valeur de C/I qui donnera au C/N effectif la valeur de C/N étudié, on peut déterminer le niveau du signal brouilleur requis:

$$I = C - C/I$$

On applique ensuite la formule suivante pour calculer le niveau d'epfd_↓ associé à la puissance du brouillage I :

$$epfd_{max} = I + 10 \log (4\pi/\lambda^2) - G + 10 \log (W_{nosg}/W_{osg})$$

où:

$$\lambda = 0,3/F \quad \text{et} \quad G = G_{max} - P$$

avec:

F : fréquence d'émission du satellite OSG

P : pertes dues au pointage (dB)

G_{max} : gain sur l'axe.

ANNEXE 3

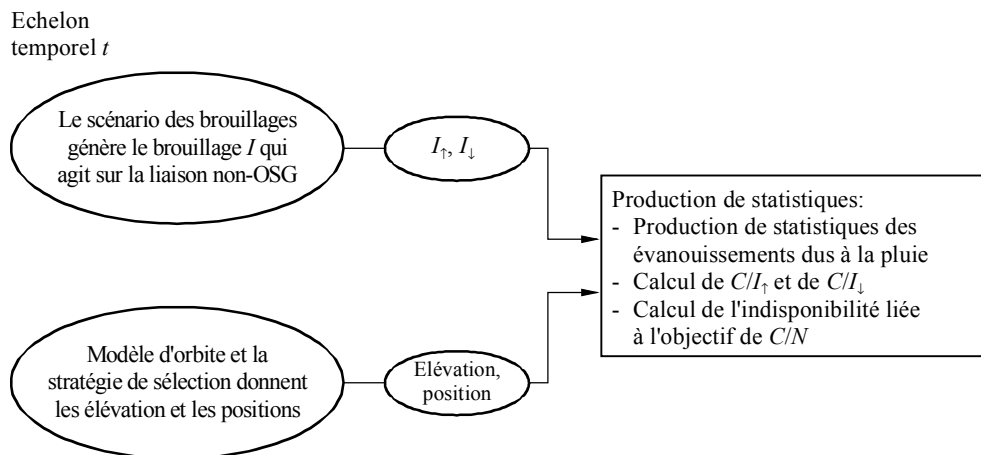
Procédure pour l'évaluation des brouillages causés aux liaisons avec angle d'élévation variable

1 Introduction

La méthodologie exposée ci-après a consisté à introduire un modèle dynamique dans la Procédure D décrite dans l'Annexe 2. La configuration géométrique du système non OSG est évaluée à chaque échelon temporel: position du satellite serveur, élévation de ce satellite par rapport aux stations terriennes non OSG émettrice et réceptrice. Pour cette configuration spatiale de la constellation non OSG, il est possible de calculer le brouillage cumulatif d'un scénario OSG donné pour le trajet de la liaison montante et celui de la liaison descendante.

On peut alors appliquer la Procédure D pour l'échelon temporel donné et évaluer l'effet produit sur l'indisponibilité des I_{\uparrow} et I_{\downarrow} donnés, générés par le réseau OSG.

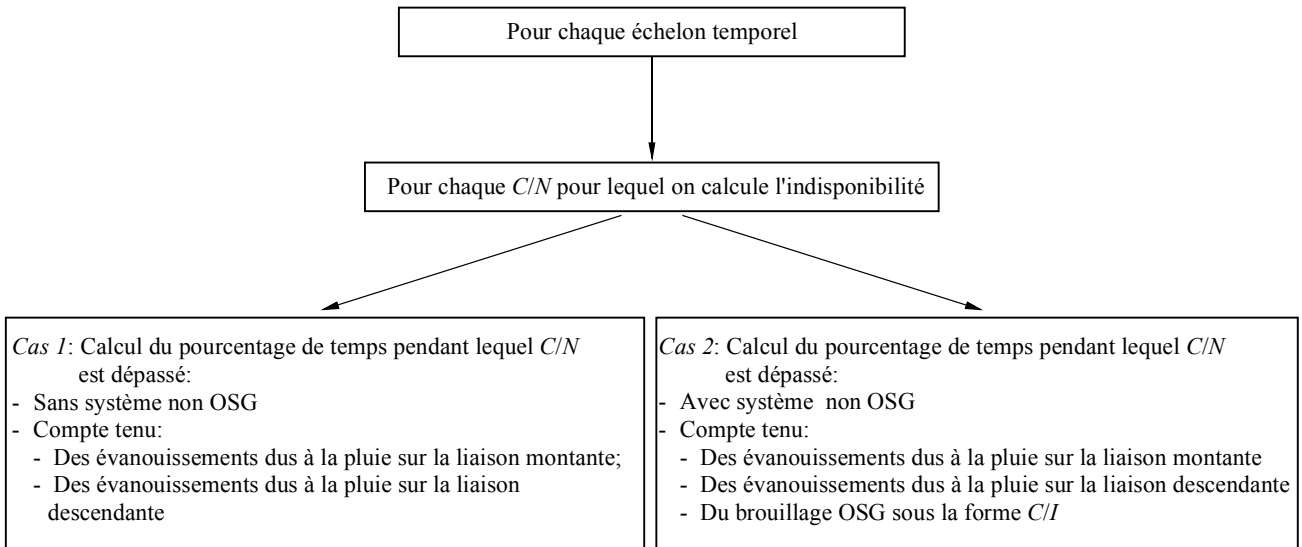
Le diagramme ci-après montre les différentes étapes de cette méthodologie.



1323-19h

A chaque échelon temporel, la première action consiste à spécifier la puissance du bruit de brouillage généré par l'environnement de brouillage, ainsi que l'élévation et la position du satellite non OSG qui dessert la station terrienne non OSG.

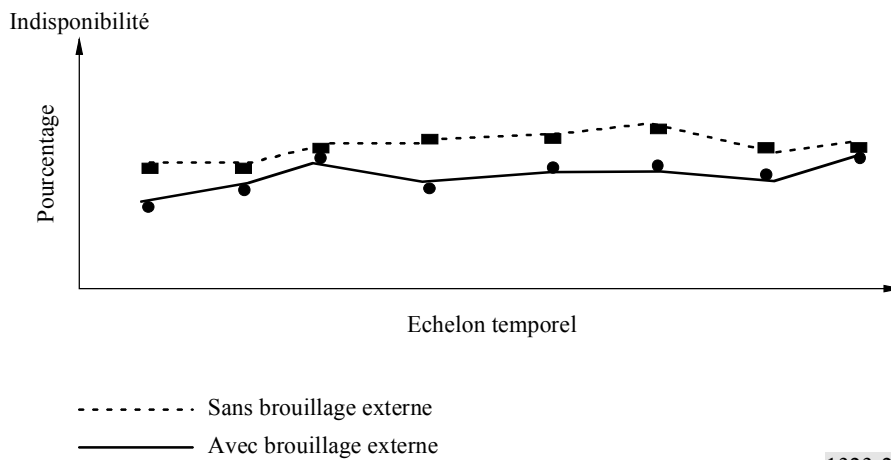
Après cette première action, il est possible d'appliquer la Procédure D pour chaque échelon temporel en tenant compte du brouillage considéré comme un rapport C/I constant (un rapport pour la liaison montante et un autre pour la liaison descendante).



1323-19i

A l'étape Fin, une statistique de $(C/N, \text{disponibilité associée})$ et de $(C/(N + I), \text{disponibilité associée})$ est générée pour chaque échelon temporel.

FIGURE 20



1323-20

Pour C/N donné, application de D' .

Cas 1: Fonction de densité cumulative du rapport C/N total sans système OSG

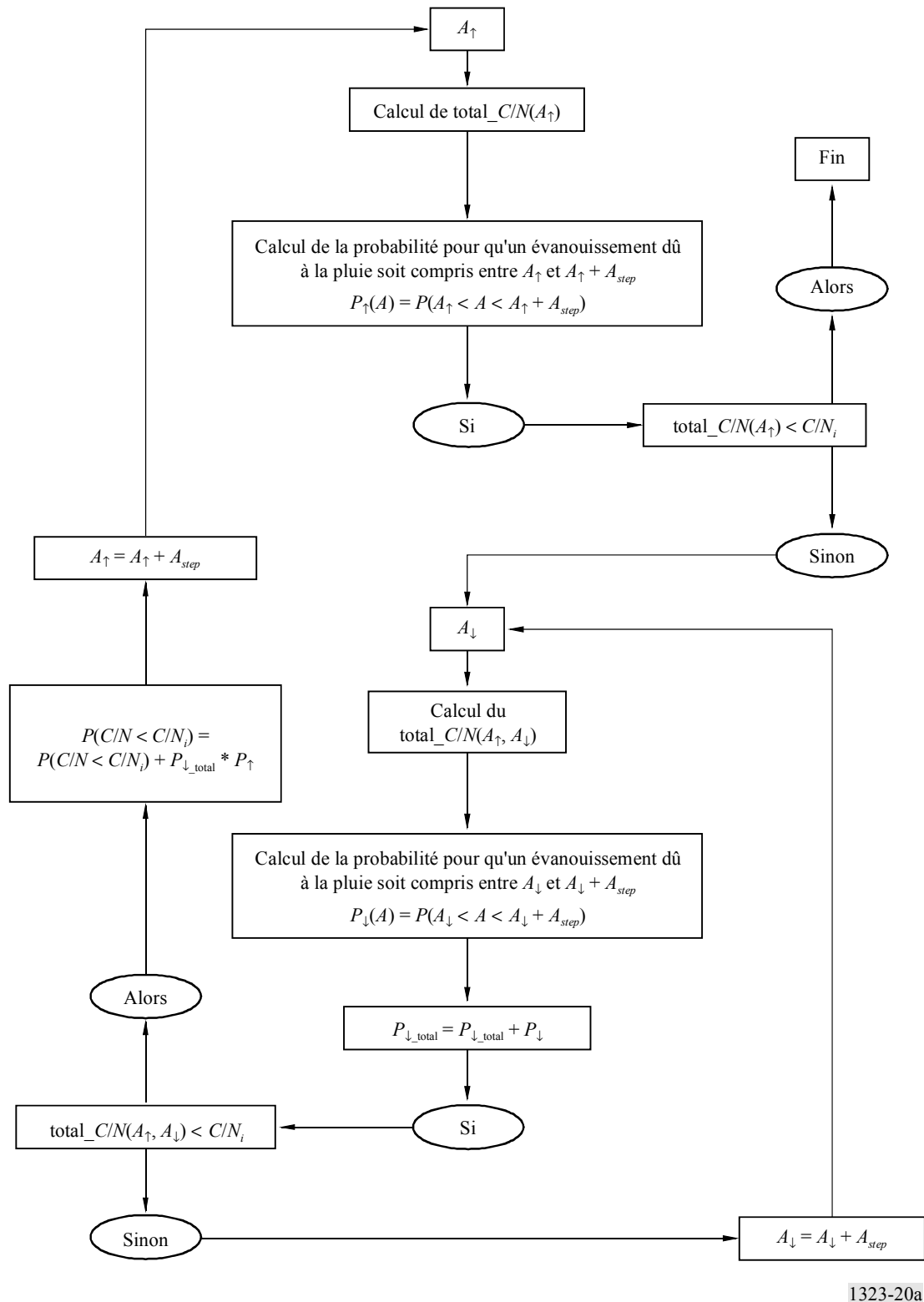
Pour chaque C/N testé pour lequel on calcule l'indisponibilité, avec les rotations suivantes:

$total_C/N(A_{\uparrow})$: rapport C/N total de la porteuse avec un affaiblissement dû à la pluie A_{\uparrow} sur la liaison montante et sans affaiblissement sur la liaison descendante;

$total_C/N(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$: rapport C/N total de la porteuse avec un affaiblissement dû à la pluie A_{\uparrow} sur la liaison montante et d'un affaiblissement dû à la pluie A_{\downarrow} sur la liaison descendante;

C/N_i : rapport C/N pour lequel on calcule le pourcentage de temps associé;

A_{step} : échelon de calcul pour l'affaiblissement dû à la pluie.



Cas 2: Fonction de densité cumulative du C/N total avec système OSG

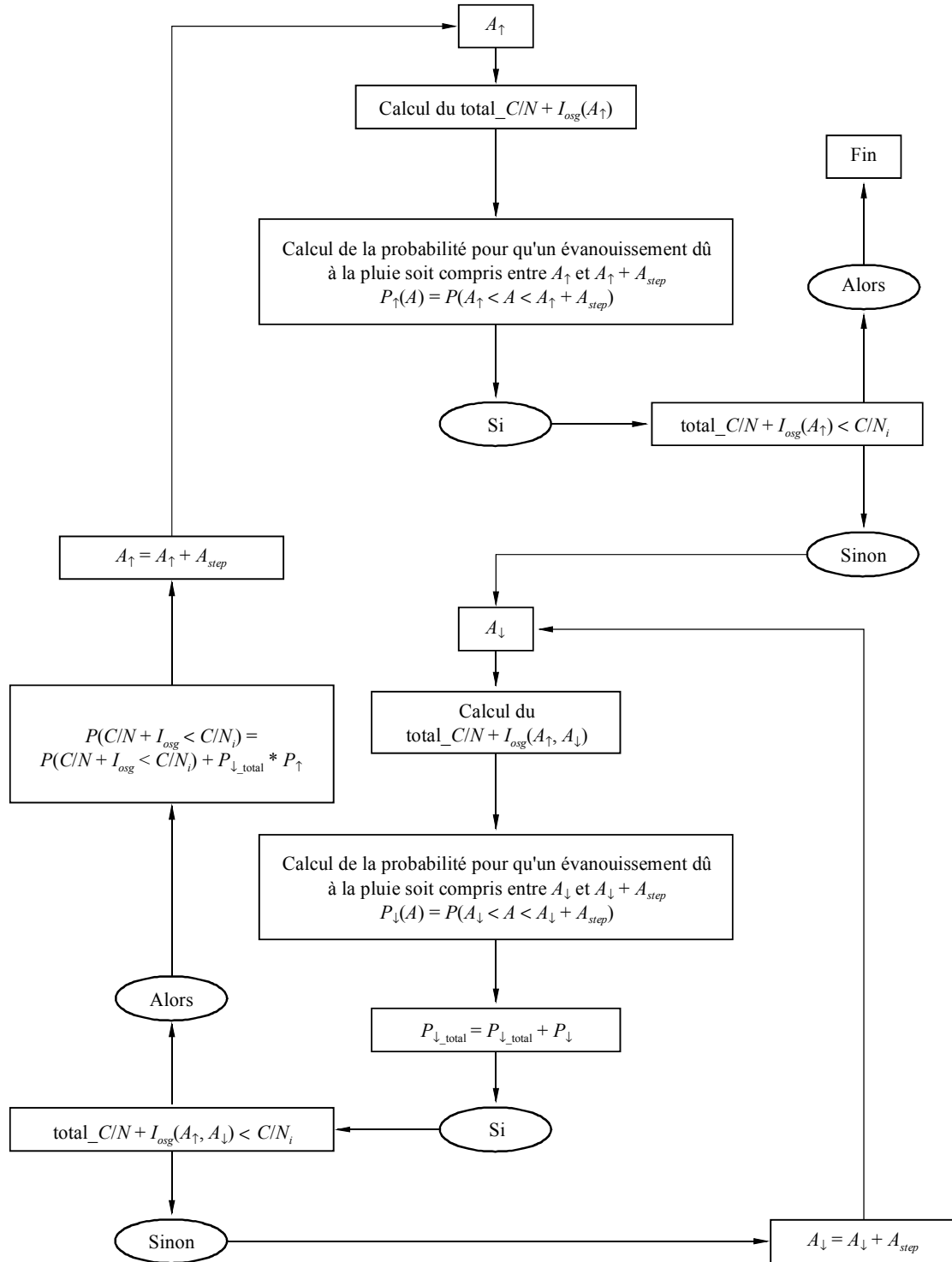
Pour chaque C/N testé pour lequel l'indisponibilité est calculée, avec les notations suivantes:

$\text{total_C/N} + I_{\text{osg}}(A_{\uparrow})$: rapport $C/(N + I)$ total de la porteuse avec un affaiblissement dû à la pluie A_{\uparrow} sur la liaison montante, et compte tenu d'une puissance de bruit de brouillage I_{\uparrow} et I_{\downarrow} générée par le scénario de brouillage OSG, et sans affaiblissement sur la liaison descendante;

$total_C/N + I_{osg}(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$: rapport $C/(N + I)$ total de la porteuse avec un affaiblissement dû à la pluie A_{\uparrow} sur la liaison montante, d'un affaiblissement dû à la pluie A_{\downarrow} sur la liaison descendante, et compte tenu d'une puissance de bruit de brouillage I_{\uparrow} et I_{\downarrow} générée par le scénario de brouillage OSG;

C/N_i : rapport C/N pour lequel on calcule le pourcentage de temps associé;

A_{step} : échelon de calcul pour l'affaiblissement dû à la pluie.



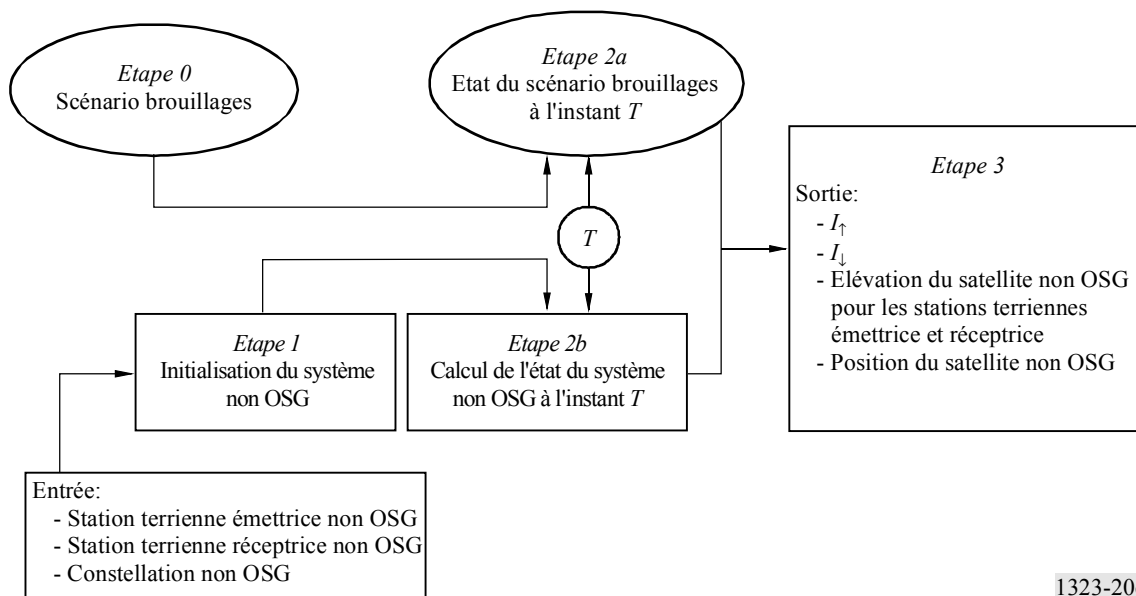
Ces opérations sont faites pour chaque échelon temporel sur une période de la constellation non OSG. On obtient l'indisponibilité totale en calculant la moyenne des différentes indisponibilités pour le rapport C/N associé aux objectifs de qualité de fonctionnement non OSG.

Il est possible alors d'évaluer l'augmentation relative de l'indisponibilité due au scénario OSG choisi.

2 Mise en œuvre de la méthode

On trouvera ci-après la description d'une forme de mise en œuvre de cette méthode, avec les organigrammes du logiciel et les diverses formules utilisées pour effectuer les simulations.

2.1 Algorithme général



La procédure concerne la protection d'une liaison donnée, établie entre une station terrienne émettrice non OSG et une station terrienne réceptrice non OSG dans le cas d'un satellite de type transparent (ou seulement la liaison montante ou la liaison descendante pour un répéteur régénérateur).

2.1.1 Etape 0: Spécification d'un scénario de brouillages de référence

Les données d'entrée de la procédure sont l'environnement de brouillage du système non OSG. Si des systèmes OSG exercent un effet sur un réseau non OSG du SFS, la première opération à effectuer est la spécification d'un environnement OSG réaliste.

Cette base de données se présentera sous la forme d'une liste de liaisons (station spatiale OSG/station terrienne non OSG). Les paramètres radioélectriques seront le diagramme de rayonnement de la p.i.r.e. de la station terrienne OSG (sur l'axe et hors axe) et la puissance surfacique au sol en fonction de l'angle d'élévation des satellites OSG. S'agissant de la p.i.r.e., on considérera les valeurs de cette puissance sur l'axe et hors axe.

On trouvera ci-après la spécification de la puissance surfacique et de la p.i.r.e. hors axe pour la bande des 14/11 GHz:

Liaison descendante: puissance surfacique en fonction de l'angle d'élévation.

Les limites de puissance surfacique proposées dans une contribution sont reproduites dans le Tableau 5:

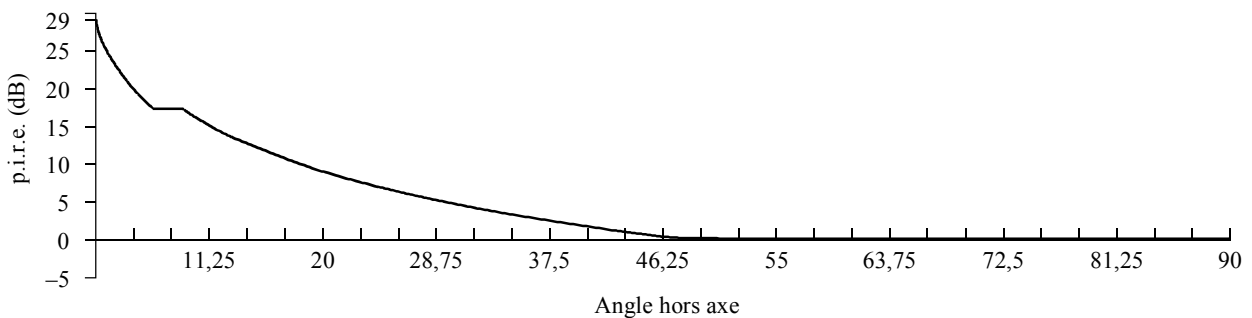
TABLEAU 5

Bande de fréquences	Service	Limite (dB(W/m ²)) en fonction des angles d'arrivée (δ) au-dessus du plan horizontal			Largeur de bande de référence
		0°-5°	5°-25°	25°-90°	
11,7-12,2 GHz (Région 2) et 12,5-12,75 GHz (Région 1)	Fixe par satellite (espace vers Terre)	-114	-114 + 0,5 (δ - 5)	-104	10 MHz

Liaison montante: p.i.r.e. hors axe

Toutes les stations terriennes OSG ont une p.i.r.e. qui correspond au gabarit spécifié ci-après. La Fig. 21 montre le gabarit de la p.i.r.e. hors axe qui est utilisé pour toutes les stations terriennes OSG. Il correspond au gabarit de la pire hors axe représenté dans la Section VI de l'Article 22 du RR.

FIGURE 21



1323-21

ou:

<i>Angle hors axe</i>	<i>p.i.r.e. maximum par tranche de 40 kHz</i>
$2,5^\circ \leq \varphi \leq 7^\circ$	$(53 - 25 \log \varphi)$ dB(W/40 kHz)
$7^\circ < \varphi \leq 9,2^\circ$	32 dB(W/40 kHz)
$9,2^\circ < \varphi \leq 48^\circ$	$(56 - 25 \log \varphi)$ dB(W/40 kHz)
$48^\circ < \varphi \leq 180^\circ$	14 dB(W/40 kHz)

2.1.2 Etape 1: Initialisation des paramètres du système non OSG à l'échelon temporel, t

Dans la première étape de la procédure, on initialise les différents secteurs du système non OSG. Le secteur terrien sera modélisé par une station terrienne réceptrice (STR) et une station émettrice (STE), identifiées l'une et l'autre par leur latitude, leur longitude et leurs paramètres radio-électriques. La constellation non OSG sera elle aussi initialisée.

Il faut ensuite choisir une stratégie de commutation pour identifier lequel des satellites de la constellation non OSG desservira les deux stations terriennes non OSG (satellite non OSG actif) à un échelon temporel donné.

2.1.3 Etape 2: Calcul des élévations et de la position du satellite non OSG actif

Pour un échelon temporel donné, l'Etape 1 a permis d'identifier le satellite de la constellation non OSG qui dessert les stations terrienne émettrice (en anglais: TES) et station terrienne réceptrice (en anglais: RES). L'étape suivante est celle du calcul des angles d'élévation (E_{STE} et E_{STR}) du satellite par rapport à ces stations.

On calcule aussi, dans cette étape, la position du satellite non OSG (X_a , Y_a et Z_a).

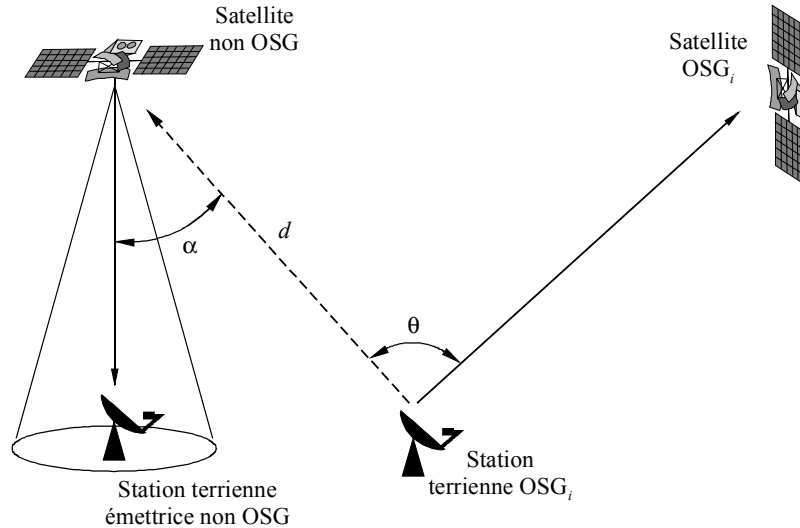
2.1.4 Etape 3: Calcul des brouillages sur la liaison montante, I_{\uparrow} , et sur la liaison descendante, I_{\downarrow}

Dans l'étape suivante de la méthode, on calcule la puissance de bruit sur les liaisons montante et descendante, bruit découlant du scénario de brouillages choisi.

– Calcul de la puissance de bruit sur la liaison montante:

La Fig. 22 illustre les brouillages causés par une station terrienne OSG.

FIGURE 22



1323-22

La formule suivante donne la puissance du bruit de brouillage généré par la $i^{\text{ème}}$ station terrienne OSG:

$$(I_{\uparrow})_i = p.i.r.e.(\theta) - 20 \log(4\pi d/\lambda) + G_{nosg}(\alpha) + 10 \log(B_{nosg})$$

où:

- $p.i.r.e.(\theta)$: p.i.r.e. hors axe dans la direction du satellite non OSG
- d : distance entre le satellite non OSG et la station terrienne OSG
- λ : longueur d'onde
- $G_{nosg}(\alpha)$: gain de réception du satellite non OSG dans la direction de la station
- B_{nosg} : largeur de bande de calcul.

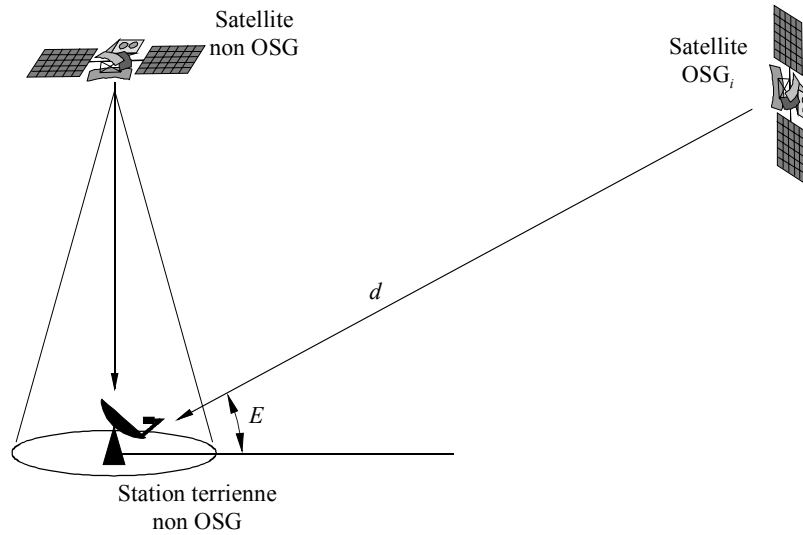
La puissance du bruit de brouillage cumulatif est égale à la somme des contributions individuelles:

$$(I_{\uparrow}) = \sum (I_{\uparrow})_i = \sum (p.i.r.e.(\theta) - 20 \log(4\pi d/\lambda) + G_{nosg}(\alpha) + 10 \log(B_{nosg}))$$

– Calcul du bruit présent sur la liaison descendante:

La Fig. 23 montre la géométrie des brouillages sur le trajet de la liaison descendante.

FIGURE 23



1323-23

La première étape consiste à calculer la puissance surfacique équivalente générée par la constellation OSG équivalente, à l'aide de l'expression suivante:

$$epfd_{\downarrow} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^{N_s} 10^{pfd_i/10} \frac{G_r(\theta_i)}{G_{max}} \right]$$

où:

N_s : nombre de stations spatiales OSG

pfd_i : puissance surfacique produite par la $i^{\text{ème}}$ station spatiale OSG

$G_r(\theta)$: gain de la station terrienne non OSG dans la direction de la station OSG brouilleuse

G_{max} : gain maximum de la station terrienne non OSG.

La puissance du bruit de brouillage se calcule à l'aide de la formule

$$I_{\downarrow} = epfd_{\downarrow} + 10 \log (\lambda^2/4 \pi) + G_{max_RES} + 10 \log (B_{nosg})$$

où:

$epfd_{\downarrow}$: puissance surfacique au sol produite par la constellation OSG

λ : longueur d'onde

G_{max_RES} : gain maximum de l'antenne de réception de la station terrienne non OSG

B_{nosg} : largeur de bande de référence.

2.1.5 *Etape 4: Application de la Procédure D à l'échelon temporel considéré*

L'étape suivante consiste à appliquer la procédure décrite dans l'Annexe 2 à la présente Recommandation. La procédure D, avec un bilan de liaison se rapportant au système non OSG, permet de calculer, pour l'échelon temporel considéré, l'indisponibilité associée aux objectifs de qualité de fonctionnement (C/N) et la diminution relative imputable au scénario de brouillages OSG.

2.1.6 *Etape 5: Calcul de l'effet produit par le scénario OSG*

Une fois que l'Etape 4 a été appliquée à toute la période de la constellation non OSG, on établit la moyenne de tous les échelons temporels pour obtenir la disponibilité liée à C/N et l'effet dû au scénario OSG.

2.2 Exemple d'application

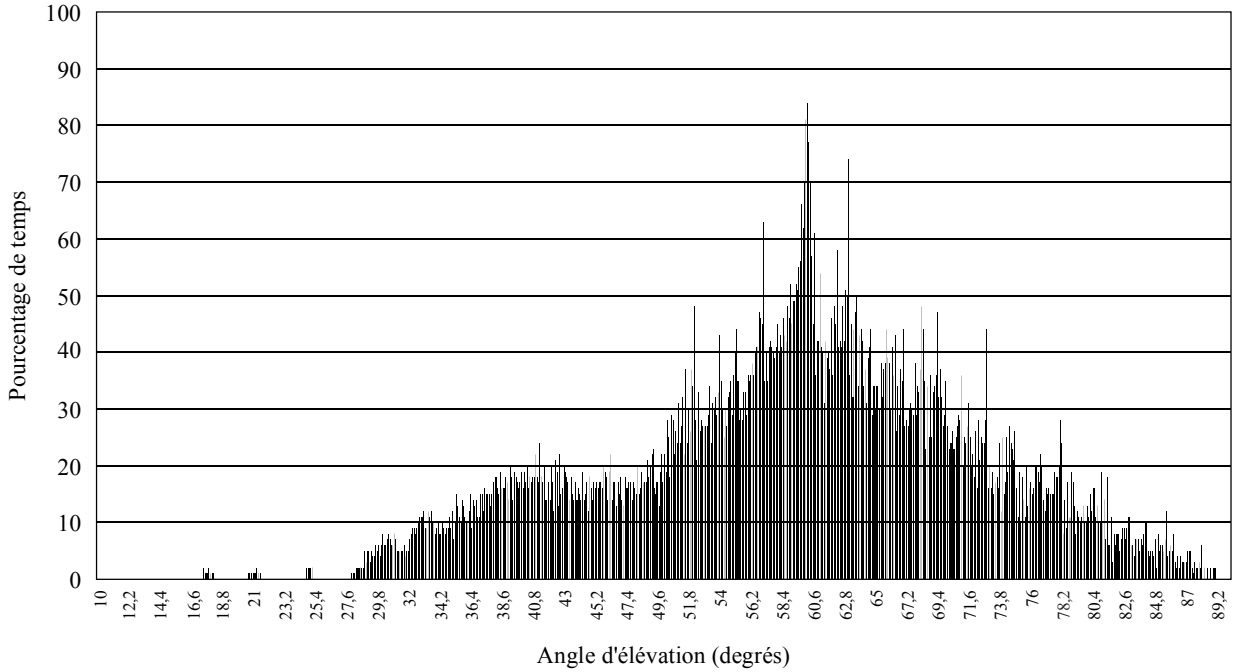
Cet exemple est donné avec le scénario de brouillages suivant:

Nom_OSG	Longitude	Nom de la station terrienne	Latitude	Longitude
GSO0	0	ES0	55	-20
GSO1	3	ES1	55	-10
GSO2	6	ES2	55	0
GSO3	9	ES3	55	10
		ES4	55	20
		ES5	45	-20
		ES6	45	-10
		ES7	45	0
		ES8	45	10
		ES9	45	20
		ES10	35	-20
		ES11	35	-10
		ES12	35	0
		ES13	35	10
		ES14	35	20
		ES15	25	-20
		ES16	25	-10
		ES17	25	0
		ES18	25	10
		ES19	25	20
		ES20	15	-20
		ES21	15	-10
		ES22	15	0
		ES23	15	10
		ES24	15	20
		ES25	5	-20
		ES26	5	-10
		ES27	5	0
		ES28	5	10
		ES29	5	20

Toutes les stations terriennes OSG pointent leurs antennes sur la station spatiale OSG. La simulation couvre une période de 13 000 s avec un échelon temporel d'1 s. Les résultats sont les suivants:

FIGURE 24

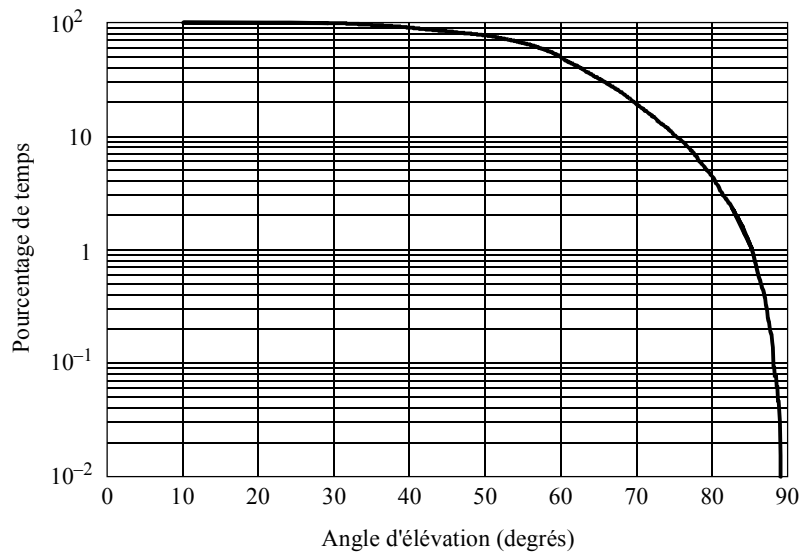
Fonction de densité de probabilité de l'angle d'élévation du satellite non OSG actif



1323-24

FIGURE 25

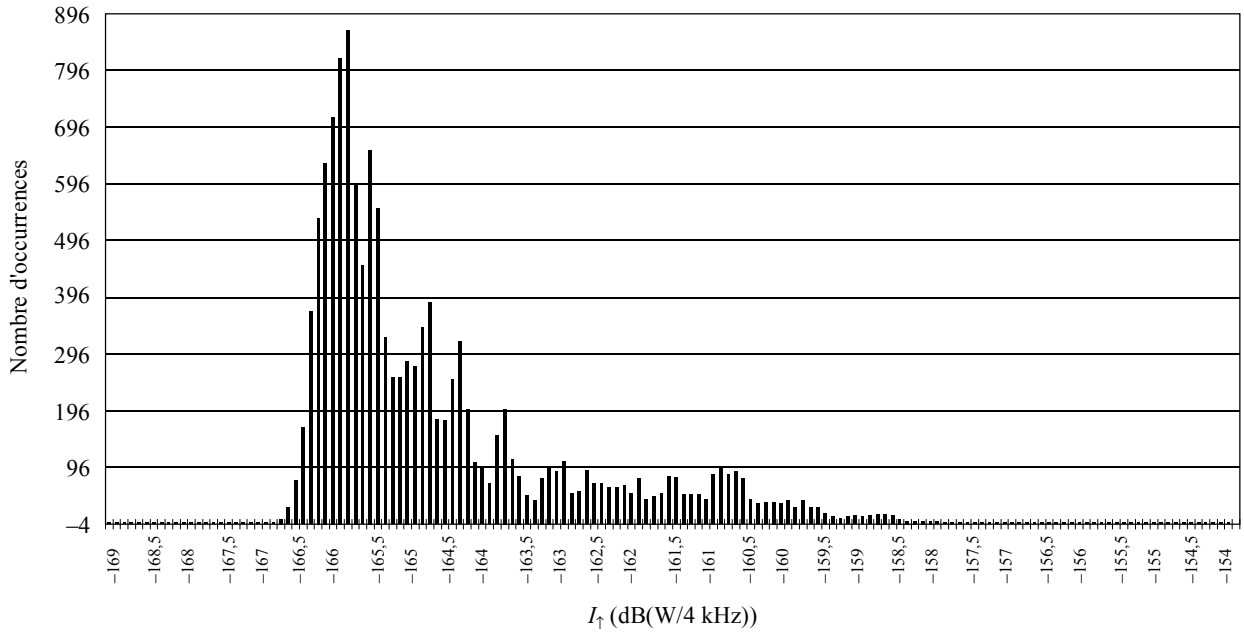
Fonction de densité cumulative de l'angle d'élévation du satellite non OSG actif



1323-25

FIGURE 26

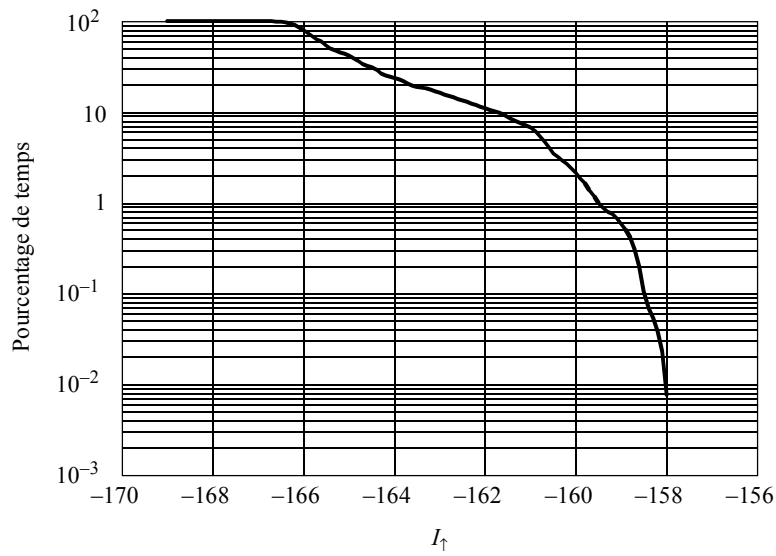
Fonction de densité de probabilité du bruit de brouillage présent sur la liaison montante



1323-26

FIGURE 27

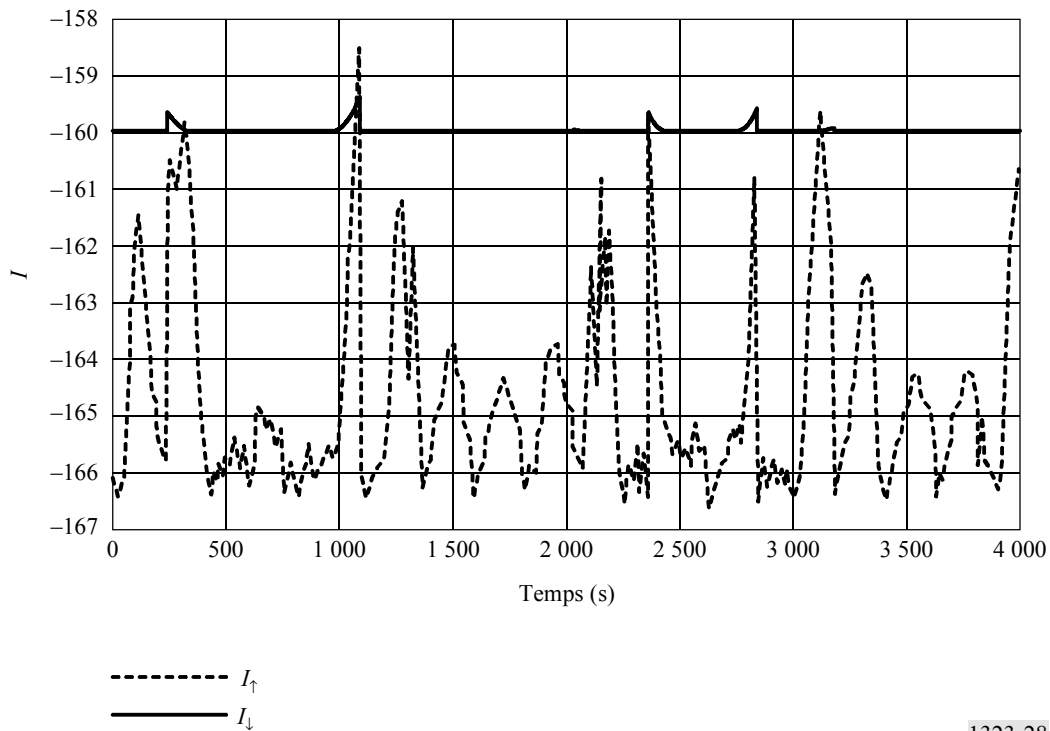
Fonction de densité cumulative du bruit de brouillage présent sur la liaison montante



1323-27

FIGURE 28

**Variation temporelle de la puissance du bruit de brouillage
sur les liaisons montante et descendante**



1323-28

La seconde étape de la méthode consiste en une application de la Procédure D.

ANNEXE 4

Procédure pour déterminer des niveaux acceptables de l'epfd_↓ par la Méthode B

1 Introduction

On trouvera dans cette Annexe la description d'une procédure qui permet de déterminer des niveaux acceptables de la puissance surfacique équivalente (epfd_↓) brouilleuse que les systèmes à satellites non OSG du SFS induisent dans les réseaux à satellites OSG du SFS. Cette détermination se fonde sur les valeurs du rapport I/N .

2 Scénarios pour les brouillages prévisibles

Un brouillage peut prendre naissance entre deux réseaux à satellites lorsqu'il y a chevauchement de fréquences sur une ou plusieurs liaisons de transmission. S'agissant du brouillage entre des réseaux à satellites, il peut y avoir jusqu'à cinq scénarios différents de chevauchement de fréquences, pour lesquels on peut déterminer le rapport I/N du système. Les paragraphes qui suivent exposent ces cas et donnent les équations pour le calcul du niveau des brouillages causés par les puissances surfaciques.

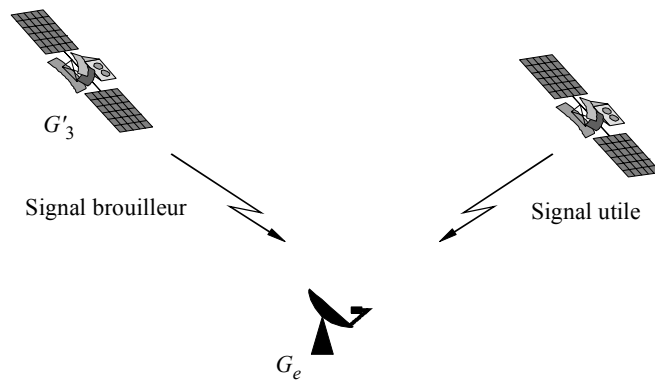
2.1 Scénario 1

Chevauchement uniquement sur la liaison descendante: le signal utile provient du satellite utile. Exemple: signal de télémesure ou transmissions sur la liaison descendante en provenance d'un satellite fonctionnant avec traitement à bord (voir la Fig. 29).

$$epfd_{\downarrow} = 10 \log \left(\frac{I_e}{N_e} \right) - G_{e \max} + 10 \log (T_e) + 10 \log (B) + G(1 \text{ m}^2) - 228,6 \quad \text{dB(W/m}^2) \quad (83)$$

où:

FIGURE 29



1323-29

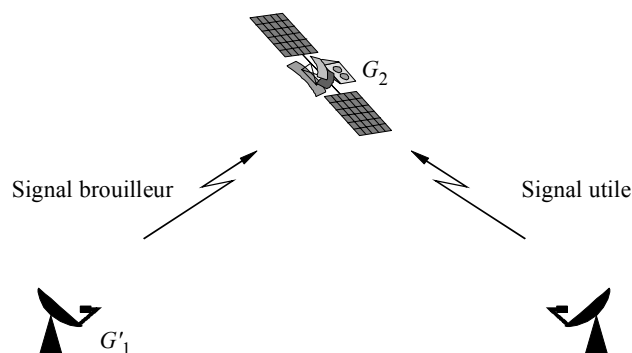
2.2 Scénario 2

Chevauchement uniquement sur la liaison montante: le signal utile provient d'une station terrienne et aboutit au satellite utile. Exemple: signal de télémesure ou signal d'un satellite fonctionnant avec traitement à bord (voir la Fig. 30).

$$epfd_{\uparrow} = 10 \log \left(\frac{I_s}{N_s} \right) - G_s + 10 \log (T_s) + 10 \log (B) + G(1 \text{ m}^2) - 228,6 \quad \text{dB(W/m}^2) \quad (84)$$

$$G_s = G_{2 \max}$$

FIGURE 30



1323-30

2.3 Scénario 3

Chevauchement uniquement sur la liaison montante: le signal utile provient d'une station terrienne et aboutit à une station terrienne utile. Exemple: réseau à satellites transparents (voir la Fig. 31).

$$epfd_{\uparrow} = 10 \log \left(\frac{\left(\frac{I_s}{N} \right) \times \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right) k (T_e + \gamma T_s) B}{G_s \times \gamma} \right) =$$

$$= \frac{I_s}{N} - 10 \log(G_s) + 10 \log \left(\frac{T_e}{\gamma} + T_s \right) + 10 \log(B) + G(1 \text{ m}^2) - 228,6 \quad \text{dB(W/m}^2) \quad (85)$$

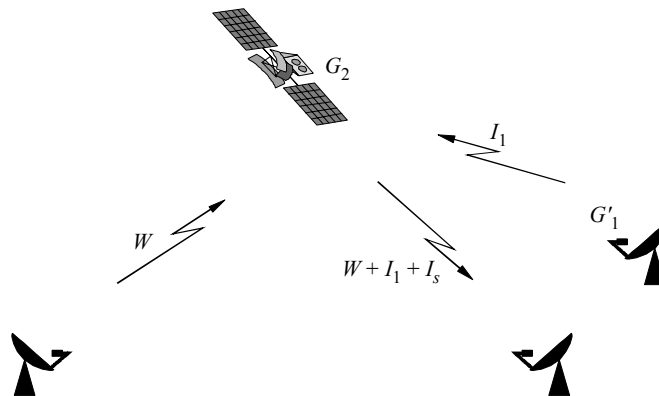
où:

$$G_s = G_{2 \text{ max}} \quad (85a)$$

$$T = T_e + \gamma T_s$$

$$\gamma = \frac{\left(\frac{C}{N} \right)_{\downarrow} T_e}{\left(\frac{C}{N} \right)_{\downarrow} T_s}$$

FIGURE 31



I_1 : signal brouilleur
 I_s : signal brouilleur sur la liaison montante retransmise par le satellite
 W : signal utile

1323-31

2.4 Scénario 4

Chevauchement uniquement sur la liaison descendante. Le signal utile provient d'une station terrienne et aboutit à une station terrienne utile. Exemple: transmission par satellite transparent (voir la Fig. 32).

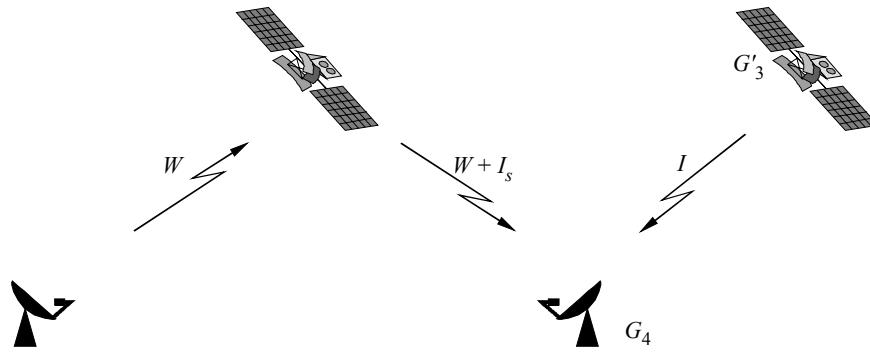
$$epfd_{\downarrow} = 10 \log \left(\frac{I_e}{N} \right) + 10 \log(T) - G_e + 10 \log(B) + G(1 \text{ m}^2) - 228,6 \quad \text{dB(W/m}^2) \quad (86)$$

où:

$$G_e = G_{4 \text{ max}} \quad (86a)$$

$$T = T_e + \gamma T_s$$

FIGURE 32



I : signal brouilleur
 I_s : signal brouilleur produit dans un satellite transparent
 W : signal utile

1323-32

2.5 Scénario 5

Chevauchement sur les deux liaisons. Le signal provient d'une station terrienne et aboutit à une station terrienne: réseau transparent (voir la Fig. 33).

$$\frac{I_{\downarrow}}{N} = epfd_{\downarrow} \times \frac{\lambda^2}{4\pi} \times \frac{G_{4 \max}}{k T B}$$

$$epfd_{\downarrow} = \frac{\frac{I_{\downarrow}}{N} \times k T B \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right)}{G_e}$$

$$\frac{I_{\uparrow}}{N} = \gamma epfd_{\uparrow} \times \frac{\lambda^2}{4\pi} \times \frac{G_2}{k T B}$$

$$epfd_{\uparrow} = \frac{\frac{I_{\uparrow}}{N} \times k T B \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right)}{G_s \lambda}$$

$$epfd_{\downarrow} = \left(\frac{I_{\downarrow}}{N} \right) + 10 \log (T_e + \gamma T_s) - G_e + 10 \log (B) + G(1 \text{ m}^2) - 228,6 \quad \text{dB(W/m}^2) \quad (87)$$

$$epfd_{\uparrow} = \left(\frac{I_{\uparrow}}{N} \right) + 10 \log \left(\frac{T_e}{\gamma} + T_s \right) - G_s + 10 \log (B) + G(1 \text{ m}^2) - 228,6 \quad \text{dB(W/m}^2) \quad (88)$$

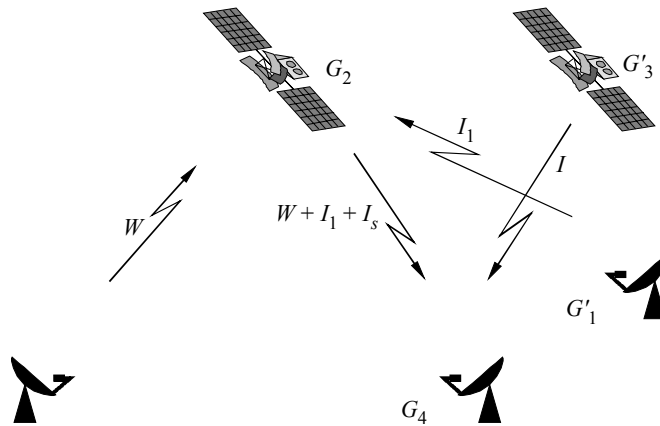
où:

$$\frac{I_{\downarrow}}{N} = \frac{I_e}{N} = \frac{\Delta T_e}{T}$$

$$\frac{I_{\uparrow}}{N} = \frac{I_s}{N} = \frac{\Delta T_s}{T} \quad (88a)$$

$$T = T_e + \gamma T_s$$

FIGURE 33



I_1 et I : signal brouilleur
 I_s : signal brouilleur retransmis par satellite transparent
 W : signal utile

1323-33

3 Influence du gain de transmission, γ

Les équations (85) à (88) sont semblables aux équations (83) et (84) avec cette différence qu'elles font intervenir le gain de transmission, γ . On trouvera ci-après un exposé sur l'effet produit par ce gain et sur la façon de le prendre en compte.

La Recommandation UIT-R S.738 définit comme suit le gain de transmission, γ :

« γ : gain de transmission d'une liaison par satellite spécifique subissant des brouillages, évalué depuis la sortie de l'antenne de réception de la station spatiale S jusqu'à la sortie de l'antenne de réception de la station terrienne e_R (rapport numérique de puissances, habituellement inférieur à 1).»

Le gain de transmission, γ peut s'exprimer comme suit:

$$\gamma = \left(\frac{\left(\frac{C}{N_0} \right)_\downarrow}{\left(\frac{C}{N_0} \right)_\uparrow} \right) \left(\frac{T_e}{T_s} \right) \tag{89}$$

$$T = \left(\frac{\left(\frac{C}{N_0} \right)_\downarrow}{\left(\frac{C}{N_0} \right)_\uparrow} \right) T_e$$

où:

- $(C/N_0)_\uparrow$: rapport porteuse/densité de bruit sur la liaison montante, compte tenu uniquement du bruit thermique et d'autres bruits de fond (rapport numérique)
- $(C/N_0)_\downarrow$: rapport porteuse/densité de bruit sur la liaison descendante, compte tenu uniquement du bruit thermique et d'autres bruits de fond (rapport numérique)
- $(C/N_0)_t$: rapport équivalent porteuse/densité de bruit sur l'ensemble de la liaison, compte tenu des dégradations intra-satellite (brouillage intra-satellite, intermodulation), du bruit thermique et d'autres bruits de fond (rapport numérique).

Le niveau de protection de la puissance surfacique doit être déterminé à partir d'un critère qui est défini comme un pourcentage de la température de bruit du système. De ce fait, le niveau résultant de la puissance surfacique augmente ou diminue avec la valeur du gain de transmission, γ . Pour être efficace, le niveau choisi pour la puissance surfacique pour protéger un réseau OSG du SFS doit tenir compte des plus basses températures de bruit des systèmes du réseau en fonction du gain de transmission, γ . En conséquence, si l'on choisit le plus petit, γ , l'expression $(T_e + \gamma T_s)$ pour chaque taille de station terrienne (gain d'antenne), déterminerait la valeur maximale acceptable de la puissance surfacique, nécessaire pour protéger tous les réseaux OSG du SFS lorsque ceux-ci fonctionnent dans des bandes utilisées en partage avec des réseaux non OSG du SFS.

L'équation (89) montre que la valeur numérique du gain du répéteur (γ) dépend des valeurs de C/N sur les liaisons montante et descendante et des valeurs T_e et T_s . De son côté, le rapport C/N dépend des facteurs suivants: les niveaux de saturation des répéteurs, les niveaux de recul de puissance des signaux des répéteurs, les dimensions des antennes des stations terriennes, les bandes de fréquences considérées et les spécifications imposées aux ondes porteuses en matière de qualité de fonctionnement. On démontre que des porteuses différentes utilisant simultanément le même répéteur peuvent avoir des gains de transmission différents. On démontre également que, pour des transmissions de porteuses similaires utilisant les mêmes répéteurs, le gain de transmission dépend, entre autres, des marges dues à la pluie, nécessaires pour la zone desservie, et de la distance oblique jusqu'à la portion de surface terrestre à desservir. On voit qu'il est difficile de déterminer des valeurs standard pour le gain de transmission, γ . On peut cependant raisonnablement prévoir que des liaisons de réseau utilisant de petites stations terriennes auront des gains de transmission inférieurs à ceux de grandes stations terriennes qui dans certains cas, pourraient dépasser 15 dB. Néanmoins, les réseaux équipés de grandes stations terriennes, en particulier ceux qui sont utilisés pour l'exploitation avec plusieurs porteuses à bande étroite, peuvent avoir des gains de transmission minimaux, s'abaissant parfois jusqu'à -20 dB.

4 Choix de l'équation de la puissance surfacique

Pendant la période d'élaboration de la présente Recommandation (à l'approche de l'an 2000), les températures de bruit thermique prévues pour les récepteurs des stations terriennes et des stations spatiales fonctionnant dans les bandes 10-14 GHz étaient respectivement de l'ordre de 150 K et 500 K. Les températures de bruit thermique des récepteurs sont constantes, en première approximation pour des dimensions d'antenne différentes, alors que la valeur minimale de γ augmente avec ces dimensions. Il est donc légitime d'étudier l'influence de γ sur le fonctionnement des réseaux qui sont dotés de grandes stations terriennes, en utilisant les meilleures températures de bruit de système prévisibles. Compte tenu des valeurs minimales données plus haut: $T_e = 150$ K, $T_s = 500$ K et $\gamma = 0,01$, les équations (85a), (86a) ou (88a) montrent que pour un réseau ayant ces paramètres la température de bruit de système est égale à:

$$T = (150 + 0,01 (500)) = 155 \text{ K}$$

Il apparaît que le gain de transmission, γ , peut avoir un effet minimum sur les températures de bruit de système rencontrées sur les liaisons descendantes, même dans les réseaux équipés de grandes stations terriennes, et que l'on peut par conséquent négliger cet effet même dans le cas des réseaux transparents. L'influence de γ reste minimum lorsqu'on augmente T_e et T_s d'un certain facteur (20% par exemple) pour tenir compte des brouillages internes et des brouillages intra-réseau. Cette valeur devra être réexaminée en fonction des paramètres des liaisons fournis dans le cadre des études de l'UIT-R sur le réexamen des limites provisoires des puissances surfaciques.

Dans les cas où les hypothèses ci-dessus sont vérifiées, on peut utiliser les équations (83) et (84) (qui sont équivalentes) pour déterminer les limites des puissances surfaciques à mettre en œuvre ($epfd_{\uparrow}$ ou $epfd_{\downarrow}$) pour protéger les réseaux OSG du SFS contre les réseaux non OSG du SFS.

4.1 Valeurs des paramètres pour le calcul $epfd_{\downarrow}$ et de $epfd_{\uparrow}$

Les équations (87) et (88) sont répétées ci-après avec des paramètres modifiés qui tiennent compte des valeurs recommandées pour l'augmentation des températures de bruit de système (33%) due aux sources de brouillages internes et intrasystème.

$$epfd_{\downarrow} = 10 \log \left(\frac{\Delta T_e}{T_e} \right) - G_{e \max} + 10 \log (1,33 T_e) + 10 \log (B) + G(1 \text{ m}^2) - 228,6 \quad \text{dB(W/m}^2) \quad (90)$$

$$epfd_{\uparrow} = 10 \log \left(\frac{\Delta T_s}{T_s} \right) - G_s + 10 \log (1,33 T_s) + 10 \log (B) + G(1 \text{ m}^2) - 228,6 \quad \text{dB(W/m}^2) \quad (91)$$

Les termes $1,33 T_e$ et $1,33 T_s$ représentent les températures de bruit de système qui existeraient, sur les liaisons montante et descendante, dans une bande attribuée au SFS. Ces équations donnent les niveaux de puissance surfacique qui permettraient d'introduire une augmentation de $100 \cdot \Delta T/T\%$ de la température de bruit de la liaison (montante/descendante). L'augmentation $\Delta T/T$ causerait la dégradation suivante des rapports C/N des liaisons (montante/descendante):

$$Degradation = 10 \log \left(1 + \frac{\Delta T}{T} \right) \quad (92)$$

Le Tableau 6 donne le résumé d'un calcul type des niveaux $epfd_{\downarrow}$ en provenance des liaisons descendantes du SFS non OSG brouillant des liaisons descendantes du SFS OSG, pour diverses dégradations des températures de bruit de système, dans le cas de stations terriennes dont les antennes ont des dimensions types et pour des fréquences de la bande des 11 GHz. On suppose que la température de bruit du récepteur des stations terriennes est de 150 K et que d'autres sources de bruit (brouillages internes et intra-réseau) ajoutent 33% de bruit supplémentaire dans tous les cas. En utilisant à bon escient les valeurs données dans la colonne Dégradation admissible, on peut obtenir des valeurs de $epfd_{\downarrow}$ correspondant à différents pourcentages de temps.

La Fig. 34 réduit le volume d'information nécessaire pour spécifier des limites d' $epfd_{\uparrow}$ et d' $epfd_{\downarrow}$ permettant de protéger les réseaux OSG du SFS pendant leur période de disponibilité. Cette information est réduite à quelques gammes de valeurs prises à titre d'exemples: 3%, 6% et 15% (un seul cas de brouillage par le réseau non OSG du SFS; brouillages multiples à déterminer), et elle est présentée sous forme graphique, ce qui permet de déterminer les limites de protection pour un large éventail de dimensions d'antenne. Un complément d'étude sera nécessaire pour pouvoir spécifier l'indisponibilité à court terme.

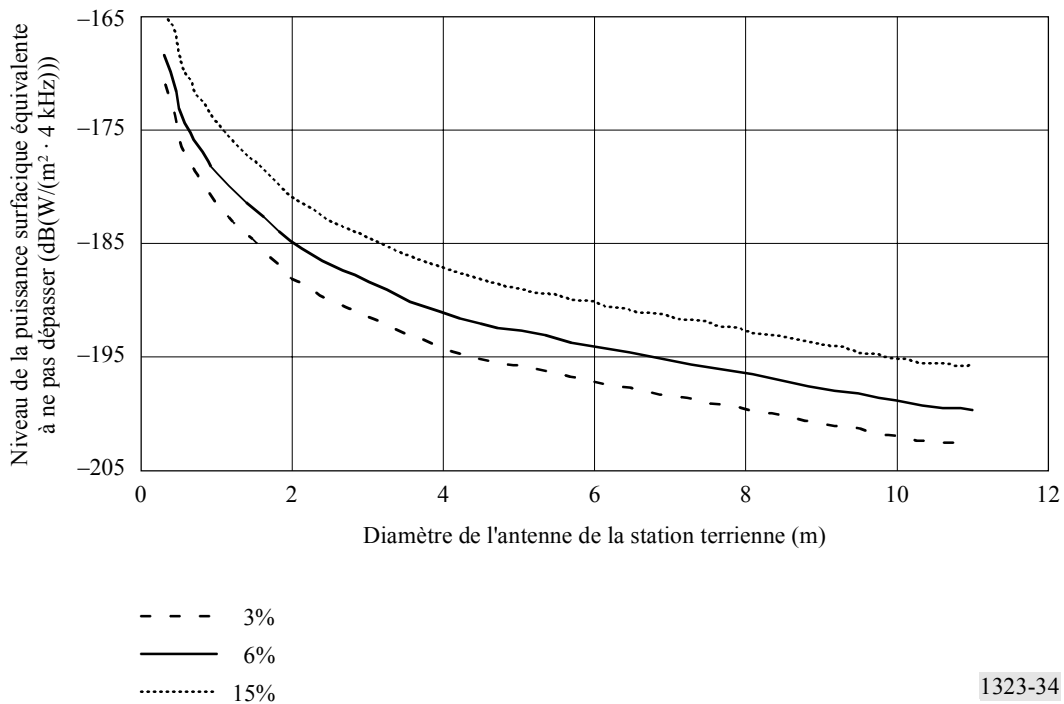
TABLEAU 6

Exemples de calcul de $epfd_{\downarrow}$ pour plusieurs antennes de stations terriennes

Fréquence sur la liaison descendante:		11,82 GHz					Largeur de bande de référence:		4 kHz						
Température du bruit du récepteur:		150 K					Gain sur antenne de référence de 1 m:		42,9 dB						
Augmentation du bruit due aux brouillages intrasystème et intersystèmes:		25%					$T_{\downarrow\text{-interne}} + T_{\downarrow\text{-autres OSG}} = 25\% (T_{Rx\text{-Terre}})$								
Température de bruit totale du système, T_s :		187,5 K													
Diamètre de l'antenne de la station terrienne (m)		0,3	0,6	0,8	1,0	1,2	1,8	2,4	3,0	4,5	10,0	11,0			
Ouverture du faisceau de l'antenne de la station terrienne (degrés)		5,91	2,95	2,21	1,77	1,48	0,98	0,74	0,59	0,39	0,18	0,16			
Rendement de l'antenne de la station terrienne (%)		72,00	72,00	72,00	72,00	70,00	68,00	65,00	65,00	63,00	62,00	60,00			
Gain de l'antenne de la station terrienne (dBi)		30,0	36,0	38,5	40,4	41,9	45,3	47,6	49,5	52,9	59,8	60,5			
Rapport G/T_e de la station terrienne (dB/K)		7,2	13,3	15,8	17,7	19,2	22,6	24,9	26,8	30,2	37,0	37,7			
$\Delta T_s/T_s$ (%)	I/N (dB)	Evanouissement admissible dû à la pluie (dB)	Dégradation du rapport G/T (dB)	Dégradation admissible (dB)	Puissance surfacique équivalente maximale produite par les systèmes non OSG (dB(W/(m ² · 4 kHz)))										
0,9	-20,46	0,02	0,01	0,04	-177,4	-183,4	-185,9	-187,8	-189,3	-192,7	-195,0	-196,9	-200,3	-207,2	-207,9
1	-20,00	0,03	0,01	0,04	-176,9	-182,9	-185,4	-187,4	-188,8	-192,2	-194,5	-196,5	-199,9	-206,7	-207,4
3	-15,23	0,06	0,07	0,13	-172,1	-178,2	-180,7	-182,6	-184,1	-187,5	-189,8	-191,7	-195,1	-202,0	-202,6
6	-12,22	0,11	0,14	0,25	-169,1	-175,2	-177,7	-179,6	-181,1	-184,4	-186,8	-188,7	-192,1	-198,9	-199,6
10	-10,00	0,27	0,14	0,41	-166,9	-172,9	-175,4	-177,4	-178,8	-182,2	-184,5	-186,5	-189,9	-196,7	-197,4
15	-8,24	0,33	0,27	0,61	-165,2	-171,2	-173,7	-175,6	-177,1	-180,5	-182,8	-184,7	-188,1	-195,0	-195,6
25	-6,02	0,45	0,52	0,97	-162,9	-169,0	-171,5	-173,4	-174,9	-178,3	-180,6	-182,5	-185,9	-192,7	-193,4
35	-4,56	0,67	0,63	1,30	-161,5	-167,5	-170,0	-171,9	-173,4	-176,8	-179,1	-181,0	-184,4	-191,3	-192,0
45	-3,47	0,77	0,85	1,61	-160,4	-166,4	-168,9	-170,8	-172,3	-175,7	-178,0	-179,9	-183,3	-190,2	-190,9
50	-3,01	0,82	0,94	1,76	-159,9	-165,9	-168,4	-170,4	-171,8	-175,2	-177,5	-179,5	-182,9	-189,7	-190,4
60	-2,22	1,00	1,04	2,04	-159,1	-165,2	-167,7	-169,6	-171,1	-174,4	-176,8	-178,7	-182,1	-188,9	-189,6
70	-1,55	1,17	1,13	2,30	-158,5	-164,5	-167,0	-168,9	-170,4	-173,8	-176,1	-178,0	-181,4	-188,3	-189,0
80	-0,97	1,25	1,30	2,55	-157,9	-163,9	-166,4	-168,3	-169,8	-173,2	-175,5	-177,4	-180,8	-187,7	-188,4
90	-0,46	1,41	1,38	2,79	-157,4	-163,4	-165,9	-167,8	-169,3	-172,7	-175,0	-176,9	-180,3	-187,2	-187,9
100	0,00	1,56	1,46	3,01	-156,9	-162,9	-165,4	-167,4	-168,8	-172,2	-174,5	-176,5	-179,9	-186,7	-187,4
200	3,01	2,64	2,13	4,77	-153,9	-159,9	-162,4	-164,4	-165,8	-169,2	-171,5	-173,5	-176,8	-183,7	-184,4
300	4,77	3,51	2,51	6,02	-152,1	-158,2	-160,7	-162,6	-164,1	-167,5	-169,8	-171,7	-175,1	-182,0	-182,6
400	6,02	4,21	2,78	6,99	-150,9	-156,9	-159,4	-161,4	-162,8	-166,2	-168,5	-170,5	-173,8	-180,7	-181,4
500	6,99	4,85	2,94	7,78	-149,9	-155,9	-158,4	-160,4	-161,8	-165,2	-167,5	-169,5	-172,9	-179,7	-180,4
600	7,78	5,40	3,05	8,45	-149,1	-155,2	-157,7	-159,6	-161,1	-164,4	-166,8	-168,7	-172,1	-178,9	-179,6
700	8,45	5,88	3,15	9,03	-148,5	-154,5	-157,0	-158,9	-160,4	-163,8	-166,1	-168,0	-171,4	-178,3	-179,0
800	9,03	6,31	3,23	9,54	-147,9	-153,9	-156,4	-158,3	-159,8	-163,2	-165,5	-167,4	-170,8	-177,7	-178,4
900	9,54	6,70	3,30	10,00	-147,4	-153,4	-155,9	-157,8	-159,3	-162,7	-165,0	-166,9	-170,3	-177,2	-177,9
1000	10,00	7,08	3,34	10,41	-146,9	-152,9	-155,4	-157,4	-158,8	-162,2	-164,5	-166,5	-169,9	-176,7	-177,4

FIGURE 34

Limites de la puissance surfacique équivalente brouilleuse sur la liaison descendante dans la bande des 12 GHz



5 Principes généraux pour la détermination des limites d'epfd_↓ à mettre en œuvre par la Méthode A'

Pour choisir les puissances surfaciques équivalentes limites à mettre en œuvre afin de protéger les réseaux OSG du SFS, il faut tenir compte d'une gamme générique de paramètres qui caractérisent la liaison OSG du SFS, à la fois pour les réseaux existants et pour les réseaux en projet. Par ailleurs, les limites ne doivent pas entraver l'évolution des perfectionnements techniques qui sont apportés aux récepteurs des satellites et des stations terriennes, notamment aux fréquences élevées où il est encore possible d'améliorer de façon importante la température de bruit des récepteurs.

La différence entre les brouillages causés par les réseaux non OSG du SFS et ceux causés par les réseaux OSG du SFS réside dans le fait que les premiers varient dans le temps et ne sont pas stables, contrairement aux seconds. Pour satisfaire aux spécifications du *recommande 9*, on peut admettre le partage du spectre entre des réseaux non OSG du SFS et des réseaux OSG, à condition que les brouillages cumulatifs de tous les réseaux non OSG limitent leurs effets sur la température de bruit de système de tous les réseaux OSG à une augmentation de 6%, ou moins, pendant au moins 90% du temps.

Par ailleurs, le *recommande 3.1* indiquerait que tous les réseaux non OSG utilisant la bande de fréquences en partage ne devraient pas être à l'origine de plus de 10% de la durée d'indisponibilité à court terme de tout réseau OSG.