RECOMMANDATION UIT-R BO.1444*

Protection du SRS dans la bande des 12 GHz et des liaisons de connexion associées dans la bande des 17 GHz contre les brouillages causés par les systèmes du SFS non OSG

(Question UIT-R 223/11)

(2000)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

a) que les bandes 11,7-12,5 GHz en Région 1, 12,2-12,7 GHz en Région 2 et 11,7-12,2 GHz en Région 3 sont attribuées au SRS.

b) que le SRS exploité dans les bandes susmentionnées fait l'objet des Plans spécifiés dans l'Appendice 30 du RR;

c) que les bandes 17,3-17,8 GHz en Région 2 et 17,3-18,1 GHz en Régions 1 et 3 sont attribuées aux liaisons de connexion du SRS;

d) que les liaisons de connexion du SRS fonctionnant dans les bandes susmentionnées font l'objet des Plans spécifiés dans l'Appendice 30A du RR;

e) que la bande 12,5-12,75 GHz est aussi attribuée au SRS en Région 3;

f) que la bande 17,8-18,1 GHz est aussi attribuée au SRS en Région 2;

g) que la CMR-97 a attribué les bandes 11,7-12,5 GHz en Région 1, 12,2-12,7 GHz en Région 2 11,7-12,2 GHz et 12,5-12,75 GHz en Région 3 au SFS non OSG (espace-Terre), ainsi que les bandes 17,3-17,8 GHz en Régions 1 et 3, et 17,8-18,1 GHz en Régions 1, 2 et 3 au SFS non OSG (Terre-espace), sous réserve des dispositions de la Résolution 538 (CMR-97).

h) que les émissions des stations appartenant à des systèmes à satellites non OSG sont susceptibles de causer des brouillages aux réseaux du SRS et aux liaisons de connexion associées si ces réseaux sont exploités dans les mêmes bandes de fréquences;

j) que le numéro 22.2 du RR stipule que les systèmes à satellites non OSG ne doivent pas causer de brouillages inacceptables à des systèmes à satellites OSG du SFS et du SRS fonctionnant conformément aux dispositions du RR;

k) que la CMR-97 a adopté des limites provisoires de la puissance surfacique équivalente (epfd), pour quantifier le niveau des brouillages inacceptables causés par les systèmes non OSG, et qu'elle a demandé à l'UIT-R d'étudier ces limites afin de garantir une protection efficace des Plans et afin de permettre les modifications futures de ces Plans;

l) qu'il existe des critères pour la protection des réseaux du SRS et des liaisons de connexion associées contre les brouillages pouvant être causés par d'autres réseaux de même nature exploités dans le cadre d'un même Plan régional ou d'un autre Plan régional (Appendice 30 du RR, Annexe 1 et Appendice 30A du RR, Annexe 1);

---

* La Commission d'études 6 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2001 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 44.

m) qu'il existe des critères pour la protection des réseaux du SRS contre les effets des réseaux du SFS exploités dans une autre Région (Appendice 30 du RR, Annexe 4) et pour la protection des liaisons de connexion associées contre les réseaux du SFS exploités dans la même Région ou dans une autre Région (Appendice 30A du RR, Annexe 4);

n) qu'il est nécessaire de définir des critères pour la protection d'un réseau du SRS, ainsi que des liaisons de connexion associées, contre les brouillages pouvant être causés par des systèmes non OSG du SFS;

o) que, pour assurer le développement harmonieux des systèmes non OSG du SFS, ainsi que des réseaux OSG du SRS et des liaisons de connexion associées, il faut déterminer le plus rapidement possible les conditions dans lesquelles le partage serait réalisable;

p) qu'il y a lieu de veiller à l'intégrité des Plans spécifiés dans les Appendices 30 et 30A du RR ainsi qu'à leurs modifications futures,

considérant en outre

a) que le concepteur de systèmes du SRS et des liaisons de connexion associées doit être en mesure de gérer la qualité de fonctionnement globale d'un réseau et de fournir une qualité de service répondant aux objectifs de qualité de fonctionnement en matière de rapport *C*/*N*;

b) que, pour donner à un opérateur la possibilité de gérer la qualité de service, il faut spécifier une limite à imposer au brouillage cumulatif qu'un réseau doit pouvoir tolérer sous l'effet des émissions de tous les autres réseaux;

c) que, pour faciliter la mise en œuvre de systèmes non OSG dans le service SFS, en application des dispositions de l'Article 22 du RR, il est nécessaire de fixer des critères de partage qui soient applicables aux divers systèmes non OSG de ce service;

d) que, dans les bandes de fréquences au-dessus de 10 GHz, où l'on peut avoir de très grands affaiblissements de propagation pendant de courtes périodes, il peut être souhaitable de réaliser les systèmes OSG et les systèmes non OSG avec un mécanisme de compensation des évanouissements;

e) que, dans des situations de brouillage imputables à des systèmes non OSG, les réseaux du SRS et des liaisons de connexion associées peuvent être exposés, pendant de courtes périodes, à des brouillages intenses qui pourraient nuire à la qualité de fonctionnement ou à la disponibilité de ces réseaux;

f) que les brouillages de courte durée peuvent interrompre la continuité des images vidéo ou introduire d'autres instabilités dans les transmissions numériques du SRS, la conséquence pouvant être une dégradation ou une interruption du service pendant des périodes plus longues que la durée des brouillages;

g) que, dans des situations de brouillage imputables à des systèmes non OSG, les réseaux du SRS et les liaisons de connexion associées peuvent être exposés, pendant de longues périodes, à des brouillages peu intenses qui pourraient dégrader la qualité de fonctionnement ou la disponibilité de ces réseaux;

h) que la qualité de fonctionnement et la disponibilité d'un système OSG opérationnel du SRS et de ses liaisons de connexion associées sont dégradées par les bruits de brouillages externes, qui peuvent être de nature stable ou statistique;

j) que ces dégradations peuvent être dues à des anomalies de la propagation, à d'autres réseaux OSG et à d'autres systèmes y compris des systèmes non OSG du SFS qui utilisent la même bande en partage;

k) que les émissions des stations terriennes et de la station spatiale d'un réseau à satellite (réseau OSG du SRS et des liaisons de connexion associées ou réseau non OSG du SFS) peuvent causer, dans ces bandes, des brouillages à un autre réseau de même nature si les deux réseaux sont exploités dans les mêmes bandes;

l) qu'il est nécessaire de spécifier une méthode pour évaluer avec précision les effets produits par les valeurs limites de l'epfd et de la puissance surfacique cumulative (apfd) des réseaux non OSG du SFS sur la qualité de fonctionnement des réseaux OSG du SRS et des liaisons de connexion associées;

m) que cette méthode permettrait de déterminer plus facilement des limites appropriées de l'epfd et de l'apfd grâce auxquelles les réseaux OSG du SRS et les liaisons de connexion associées bénéficieraient d'une protection efficace,

recommande

1 que, pour un réseau OSG du SRS exploité dans la bande des 12 GHz et ses liaisons de connexion associées exploitées dans la bandes des 17 GHz, les brouillages cumulatifs inter-réseaux résultant des émissions des stations terriennes et des stations spatiales de tous les réseaux à satellites non OSG du SFS exploités dans la même bande de fréquences:

1.1 ne soient pas à l'origine de plus de 10% de la (des) marge(s) temporelle(s) applicables(s) à l'indisponibilité de la (des) valeur(s) donnée(s) du rapport C/N, spécifiée(s) comme objectifs de qualité de fonctionnement du réseau utile, N, désignant le niveau du bruit total dans la largeur de bande de bruit associée à la porteuse utile, compte tenu de toutes les autres sources de brouillages invariables dans le temps;

1.2 n'entraînent pas, par ciel clair, une perte de continuité des images vidéo (voir la Note 1) dans le réseau numérique utile OSG du SRS et dans le réseau des liaisons de connexion associées (voir la Note 2);

2 que les limites de l'epfd, telle que définie dans l'Article 22 du RR, applicables respectivement aux systèmes non OSG du SFS devant fonctionner dans les bandes des 12 GHz partagées avec le SRS, et aux bandes de fréquences des 17 GHz partagées avec les liaisons de connexion du SRS, soient calculées et spécifiées de telle manière:

2.1 qu'elles satisfassent aux critères indiqués dans les *recommande* 1.1 et 1.2 ci-dessus, lorsque ceux-ci sont appliqués à un ensemble de caractéristiques représentatives d'un système OSG du SRS et des liaisons de connexion associées, comme stipulé dans l'Annexe 1 à la présente Recommandation;

2.2 que la répartition de la marge des brouillages cumulatifs, spécifiée dans les *recommande* 1.1 et 1.2 pour le calcul des limites relatives à une source de brouillages unique, soit fondée sur le nombre effectif de systèmes non OSG du SFS avec lesquels on prévoit le partage des mêmes bandes de fréquences;

2.3 que ces limites soient spécifiées par des courbes continues de la fonction de densité cumulative pour une gamme de dimensions représentatives d'antennes de réception OSG (voir la Note 3);

3 que les méthodes décrites dans les Annexes 2 et 3, en relation avec un nombre approprié, supposé, de systèmes non OSG du SFS, soient utilisées pour évaluer l'effet produit par les limites de l'epfd et de l'apfd, applicables aux systèmes non OSG du SFS, sur les réseaux OSG du SRS dans la bande des 12 GHz et sur les liaisons de connexion associées dans la bande des 17 GHz (voir la Note 4);

4 que la méthode décrite dans l'Annexe 4 soit utilisée pour déterminer si les dispositions du *recommande* 1.2 sont satisfaites;

5 que les Notes suivantes soient considérées comme parties intégrantes de la présente Recommandation.

NOTE 1 – Il se produit une perte de continuité des images vidéo MPEG lorsque le TEB du train de bits vidéo MPEG démodulé est suffisamment élevé pour que le décodeur MPEG vidéo associé cesse de fournir une ou plusieurs images. Il en résulte alors, en général, la mise en action de techniques de dissimulation des erreurs par le décodeur vidéo, par exemple: présentation de la dernière image MPEG disponible (image gelée), présentation d'une image tout en noir, ou autres techniques.

NOTE 2 – Il a été demandé aux administrations d'indiquer la différence (dB) entre le rapport $C/(N + I)$ requis au seuil de fonctionnement, que l'on trouve à la ligne 13 de la feuille de calcul électronique de la base de données, et la perte de continuité des images vidéo pour chaque liaison. Si ce renseignement n'est pas fourni par l'administration responsable, on admet une valeur par défaut de 1,5 dB.

NOTE 3 – L'étude devra être poursuivie pour faire en sorte que, dans la mesure du possible, ces limites soient compatibles avec les niveaux de protection appliqués actuellement pour les Plans des Appendices 30 et 30A du RR, et pour leurs modifications futures.

NOTE 4 – Des calculs ont été faits pour vérifier la cohérence des résultats fournis par les deux méthodes. Cette cohérence a pu être mise en évidence.

Cependant, il est apparu que dans certains cas il existe des différences notables entre les indisponibilités calculées par les deux programmes. Des études détaillées ont montré que l'on obtenait des différences entre les deux programmes lorsque l'analyse portait sur des liaisons comportant des stations terriennes équipées de grandes antennes (120 cm et plus). La cause de ces différences est peut-être liée au fait que la dégradation de la liaison résultant de la limite de l'epfd pour 100% du temps est très voisine de la dégradation disponible dans la liaison. Les administrations qui utilisent ces progiciels devront tenir le plus grand compte de ce résultat.

ANNEXE 1

Caractéristiques des systèmes du SRS

La base de données faisant partie de cette Annexe donne les caractéristiques des réseaux OSG du SRS, en exploitation ou projetés, et des liaisons de connexion associées. Ces informations, fournies en réponse aux lettres circulaires CR-92 et CR-116, doivent servir à définir des gabarits recommandés pour l'epfd, qui seront utilisés dans les études sur le partage entre systèmes OSG du SRS et systèmes non OSG du SFS.

Cette base de données en format Excel est disponible en version électronique sur le site Web de l'UIT: http://www.itu.int//itudoc/itu-r/sg11/docs/sg11/1998-00/contrib/138e2.html

ANNEXE 2

Méthode d'analyse des limites à mettre en œuvre pour $epfd_{up}$ et $epfd_{down}$ dans les bandes attribuées au SRS et aux liaisons de connexion associées

1 Principe général

Le fonctionnement de la porteuse OSG est défini par un seuil de fonctionnement exprimé par une valeur donnée du rapport *C*/*N*. Ce seuil de fonctionnement définit le rapport *C*/*N* nécessaire pour la liaison considérée. Ces phénomènes variables dans le temps, se produisant sur la liaison, peuvent abaisser le rapport *C*/*N* en dessous du seuil de fonctionnement pendant un certain pourcentage de temps. Cette variation peut être provoquée par la pluie mais aussi par les systèmes non OSG du SFS. La méthode décrite ici consiste à calculer le pourcentage additionnel du temps d'interruption pendant lequel le rapport *C*/*N* s'abaisse en dessous du seuil de fonctionnement sous l'effet des brouillages causés par des systèmes non OSG du SFS.

A cette fin, l'application du *recommande* 1.1 nécessite le calcul de l'augmentation relative de l'indisponibilité imputable à des systèmes non OSG du SFS. Pour ce faire, il faut calculer les indisponibilités respectivement avec et sans systèmes non OSG, et les comparer. Ces deux indisponibilités doivent être calculées exactement de la même manière pour que la comparaison soit valable.

2 Nécessité d'une approche statistique

Les dégradations intervenant sur la liaison sous l'effet de la pluie et des brouillages non OSG sont des phénomènes aléatoires dans le temps qui peuvent être modélisés à l'aide d'une fonction de densité de probabilité (fdp) (la fdp relative à la pluie, c'est-à-dire la probabilité pour qu'un évanouissement dû à la pluie ait une valeur donnée, peut être calculée par application des dispositions de la Recommandation UIT-R P.618). Si ces phénomènes ne sont pas modélisés en fonction de leurs variations dans le temps et si, au contraire, on leur donne des valeurs constantes égales à la valeur du cas le plus défavorable, le résultat sera une surestimation de la dégradation existant sur la liaison.

Il faut par conséquent combiner statistiquement des dégradations variables dans le temps qui peuvent abaisser le rapport *C*/*N* en dessous du seuil de fonctionnement, à savoir:

– l'affaiblissement dû à la pluie sur les liaisons montantes et descendantes (dont la description statistique est donnée dans la Recommandation UIT-R P.618);

– les brouillages causés par un (ou plusieurs) système(s) non OSG du SFS (dont la description statistique s'exprime par le gabarit de l'$epfd_{down}$).

On admet par hypothèse que chaque source de dégradations est statistiquement indépendante de l'autre. Cela signifie que l'occurrence d'un phénomène d'une intensité donnée n'est pas corrélée avec l'occurrence simultanée de l'autre phénomène.

3 Exposé détaillé du principe

Etape 1: Production de toutes les combinaisons possibles des diverses sources de dégradations individuelles et calcul de la probabilité d'occurrence correspondante. Une combinaison comprendra, par exemple, les éléments suivants:

– évanouissement dû à la pluie sur la liaison montante = 1 dB (probabilité individuelle d'occurrence = 0,25% du temps);

– évanouissement dû à la pluie sur la liaison descendante = 0,5 dB (probabilité individuelle d'occurrence = 0,15% du temps);

– $epfd_{down}$ = –175 dB(W/(m^2 · 4 kHz)) (probabilité individuelle d'occurrence = 1% du temps);

– probabilité combinée d'occurrence = 0,25% × 0,15% × 1%.

Etape 2: Pour chacune des combinaisons possibles mentionnées ci-dessus, calcul du rapport *C*/*N* sur la base des budgets de liaison donnés dans l'Annexe 1, compte tenu des sources de dégradations.

Etape 3: Comparaison entre le rapport *C*/*N* calculé et le seuil de fonctionnement afin de déterminer si la liaison est disponible ou non.

Etape 4: Sommation de toutes les probabilités combinées d'occurrence correspondant aux diverses combinaisons de l'Etape 1, qui n'abaissent pas le rapport *C*/*N* en dessous du seuil de fonctionnement. La somme obtenue représente la probabilité pour que la liaison soit disponible lorsqu'on tient compte à la fois des brouillages non OSG et de la pluie.

Etape 5: Répétition du processus sans tenir compte de $epfd_{down}$ pour calculer la disponibilité de la liaison OSG en l'absence de brouillages non OSG.

ANNEXE 3

Mise en œuvre de la méthode d'évaluation selon la simulation de Monte Carlo

1 Introduction et résumé

La pluie a pour effet d'accroître l'indisponibilité des systèmes, par rapport au fonctionnement par ciel clair, en ajoutant la température de bruit de système des récepteurs. La présence de brouillages causés par des systèmes non OSG provoque une élévation supplémentaire de cette température de bruit, donc une augmentation de l'indisponibilité du système. Ces facteurs, et beaucoup d'autres, doivent être pris en compte lorsqu'on évalue la disponibilité numérique des systèmes en présence de brouillages non OSG.

On trouvera dans la présente Annexe une description détaillée de la méthodologie de Monte Carlo, proposée pour évaluer l'augmentation de l'indisponibilité du SRS imputable aux brouillages causés par des systèmes non OSG. On établira tout d'abord une équation complète, mais complexe, pour l'indisponibilité, après quoi cette équation sera simplifiée grâce à des approximations. Une procédure est présentée qui permet d'évaluer une des équations simplifiées par une simulation de

Monte Carlo. On trouvera également, à titre d'exemple, la discussion d'un résultat obtenu par application de la simulation. Enfin, on calculera la pente du régime de transition (B) pour les gabarits d'epfd proposés. Dans cette analyse, les signaux brouilleurs produits par les systèmes non OSG ne subissent pas d'évanouissements du fait de la pluie. L'Appendice 1 à la présente Annexe donne le calcul à effectuer pour l'établissement des équations des dégradations dans le cas où les signaux brouilleurs non OSG subissent des évanouissement dus à la pluie.

2 Méthode d'évaluation proposée

2.1 Etablissement des équations des dégradations dans le cas où les signaux brouilleurs non OSG ne subissent pas d'évanouissements dus à la pluie

Dans cette Annexe, dans un rapport porteuse/bruit, C/N, on désignera ici par le terme bruit, N, la somme de toutes les puissances non désirées dans une situation donnée, par exemple: bruit thermique, élévation de la température de bruit due à la pluie, brouillages OSG et/ou brouillages non OSG.

Le rapport C/N total est influencé par la liaison montante et par la liaison descendante selon la formule:

$$C/N = \frac{(C/N)_U \cdot (C/N)_D}{(C/N)_U + (C/N)_D} = \frac{(C/N)_D}{1 + \dfrac{(C/N)_D}{(C/N)_U}} \tag{1}$$

où $(C/N)_U$ et $(C/N)_D$ désignent respectivement le rapport C/N sur la liaison montante et le rapport C/N sur la liaison descendante. $(C/N)_U$ a pour expression:

$$\begin{aligned}(C/N)_U &= (C/N)_{UC}\, DG_U \\ &= \frac{(C/N)_{UC}\,\alpha_U}{1 + \dfrac{T_{\alpha_U}}{T_U} + \dfrac{I_{UG} + I_{UN}}{N_U}} \\ &= \frac{(C/N)_{UC}}{\dfrac{1}{\alpha_U}\left(1 + \dfrac{T_{\alpha_U}}{T_U} + \dfrac{I_{UG} + I_{UN}}{N_U}\right)}\end{aligned} \tag{2}$$

Les notations utilisées dans l'équation (2) ont la signification suivante:

$(C/N)_{UC}$: rapport porteuse/bruit sur la liaison montante par ciel clair (T_U seulement)

DG_U: facteur de dégradation pour la liaison montante

α_U: affaiblissement par la pluie sur la liaison montante ($0 < \alpha_U < 1$) (variable aléatoire)

I_{UN}: puissance des brouillages causés par les systèmes non OSG sur la liaison montante (variable aléatoire)

I_{UG}: puissance des brouillages reçus en provenance d'autres systèmes OSG sur la liaison montante

T_{α_U}: élévation de la température de bruit due à la pluie sur la liaison montante

T_U: température de bruit du système de réception sur la liaison montante (≈ 617 K)

N_U: puissance du bruit thermique dans le récepteur de la liaison montante.

On a: $N_U = k\,T_U\,B$, où k est la constante de Boltzmann et B désigne la largeur de bande de bruit du récepteur. L'affaiblissement par la pluie, α_U, a pour effet de réduire directement la puissance de la porteuse reçue. Le dénominateur de l'équation (2) représente le bruit équivalent, par rapport à T_U, compte tenu de la température de bruit due à la pluie et des contributions de brouillages des systèmes OSG et non OSG. Tout comme la porteuse, les contributions de brouillages sont affaiblies par la pluie dans le rapport α_U.

De la même façon, l'expression de C/N sur la liaison descendante est la suivante:

$$(C/N)_D = (C/N)_{DC}\,DG_D = \frac{(C/N)_{DC}}{\dfrac{1}{\alpha_D}\left(1+\dfrac{T_{\alpha_D}}{T_D}+\dfrac{I_{DG}+I_{DN}}{N_D}\right)} \tag{3}$$

avec

$N_D = k\,T_D\,B$

$(C/N)_{DC}$: rapport porteuse/bruit sur la liaison descendante par ciel clair (T_D seulement)

DG_D: facteur de dégradation pour la liaison descendante

α_D: affaiblissement par la pluie sur la liaison descendante ($0 < \alpha_D < 1$) (variable aléatoire)

I_{DN}: puissance des brouillages causés par les systèmes non OSG sur la liaison descendante (variable aléatoire)

I_{DG}: puissance des brouillages reçus en provenance de systèmes OSG sur la liaison descendante

T_{α_D}: élévation de la température de bruit due à la pluie sur la liaison descendante

T_D: température de bruit du système de réception sur la liaison descendante (≈ 125 K)

N_D: puissance du bruit thermique dans le récepteur de la liaison descendante.

On a donc pour le rapport total C/N:

$$C/N = \frac{(C/N)_{DC}\,DG_D}{1+\dfrac{(C/N)_{DC}\,DG_D}{(C/N)_{UC}\,DG_U}} = \frac{(C/N)_{DC}}{\dfrac{1}{\alpha_D}\left(1+\dfrac{T_{\alpha_D}}{T_D}+\dfrac{I_{DG}+I_{DN}}{N_D}\right)}\left[1+\frac{(C/N)_{DC}}{(C/N)_{UC}}\frac{\dfrac{1}{\alpha_U}\left(1+\dfrac{T_{\alpha_U}}{T_U}+\dfrac{I_{UG}+I_{UN}}{N_U}\right)}{\dfrac{1}{\alpha_D}\left(1+\dfrac{T_{\alpha_D}}{T_D}+\dfrac{I_{DG}+I_{DN}}{N_D}\right)}\right]^{-1} \tag{4}$$

L'équation (4) contient DG, facteur de dégradation de $(C/N)_{DC}$, qui est le rapport C/N sur la liaison descendante par ciel clair. A noter que $(C/N)_{DC}$ est aussi le facteur de qualité de fonctionnement par rapport auquel toutes les dégradations sont évaluées dans la Méthode A de la Recommandation UIT-R S.1323. On a: $DG_U \leq 1$, $DG_D \leq 1$, $DG \leq 1$, et un facteur de dégradation positif (dB) se définit comme suit: $DG_{\text{dB}} = -10 \log_{10}(DG) \geq 0$. Avec le facteur de dégradation de l'équation (4), on utilise une méthode d'intégration de la fdp pour calculer l'indisponibilité. Le facteur de dégradation sur la liaison descendante, DG_D, apparaît deux fois dans l'équation mais il suffit de le calculer une seule fois.

Comme dans la Recommandation UIT-R S.1323, on admet par hypothèse que la pluie et les brouillages non OSG se produisent indépendamment les uns des autres. En revanche, les effets des brouillages sur la dégradation dépendent de la pluie. Plus précisément, la pluie a pour effet d'élever la température de bruit des systèmes et d'affaiblir les signaux brouilleurs ainsi que la porteuse. C'est la raison pour laquelle l'effet de dégradation des brouillages non OSG est moindre en présence de pluie que par ciel clair. C'est une différence importante entre la méthode proposée ici et la Méthode A de la Recommandation UIT-R S.1323.

Il est possible de simplifier l'équation (4) en appliquant des approximations appropriées. Dans la première approximation, on tient compte uniquement du bruit thermique sur la liaison montante (N_U) par ciel clair. Avec $\alpha_U = 1$, $T_{\alpha_U} = 0$ et $I_{UN} = I_{UG} = 0$ dans l'équation (2), on trouve $DG_U = 1$ (absence de dégradation), d'où:

$$(C/N)_U = (C/N)_{UC}\, DG_U = (C/N)_{UC} \tag{5}$$

L'équation (4) se réduit ainsi à:

$$C/N = \frac{(C/N)_{DC}}{\dfrac{1}{\alpha_D}\left(1 + \dfrac{T_{\alpha_D}}{T_D} + \dfrac{I_{DG} + I_{DN}}{N_D}\right)} \left[1 + \frac{(C/N)_{DC}}{(C/N)_{UC}} \frac{1}{\dfrac{1}{\alpha_D}\left(1 + \dfrac{T_{\alpha_D}}{T_D} + \dfrac{I_{DG} + I_{DN}}{N_D}\right)}\right]^{-1} \tag{6}$$

L'approximation suivante va plus loin: on néglige ici complètement la liaison montante du point de vue de sa dégradation sur l'ensemble de la liaison. En posant que le second facteur de l'équation (6) est égal à 1, on obtient une expression simplifiée pour le rapport total C/N:

$$C/N = \frac{(C/N)_{DC}}{\dfrac{1}{\alpha_D}\left(1 + \dfrac{T_{\alpha_D}}{T_D} + \dfrac{I_{DG} + I_{DN}}{N_D}\right)} \tag{7}$$

On peut évaluer l'élévation de la température de bruit des systèmes qui figure dans l'équation (7) à l'aide de la formule:

$$T_{\alpha_D} = T_{D_m}\left(1 - 10^{\frac{-\alpha_{D\text{dB}}}{10}}\right) \tag{8}$$

où T_{D_m} désigne la température de bruit due à la pluie (≈ 290 K) et $\alpha_{dB} = -10 \log_{10}(\alpha) \geq 0$ est l'affaiblissement dû à la pluie (dB). L'équation (8) s'applique également aux équations (4) et (6).

Le modèle quasi complet de l'équation (7) est valable si le rapport $(C/N)_U$ sur la liaison montante est très supérieur au rapport $(C/N)_D$ sur la liaison descendante. Il en est ainsi dans des situations typiques, en particulier si on utilise la régulation de puissance sur la liaison montante pour compenser l'affaiblissement dû à la pluie. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que, dans l'établissement de l'équation (7), α_U est inférieur à α_D parce que la fréquence utilisée sur la liaison montante est plus élevée. Plus α_U est petit, moins le second facteur de l'équation (4) est négligeable.

Les résultats donnés dans la présente Recommandation reposent sur l'équation (7).

Comme indiqué plus haut, grâce à la méthode de Monte Carlo, l'affaiblissement dû à la pluie et le niveau des brouillages causés par les systèmes non OSG peuvent varier dans le temps conformément aux statistiques correspondantes. Tous les autres paramètres sont supposés être constants. Les expériences du type Monte Carlo modélisent les paramètres variables dans le temps sous la forme de variables aléatoires pour l'évaluation de la dégradation du rapport *C*/*N* par exemple à l'aide de l'équation (7). Plus précisément, les statistiques de la dégradation des systèmes due à la pluie et aux brouillages non OSG sont établies avec des variables aléatoires en fonction de leurs fonctions de densité cumulatives (CDF, *cumulative density function*). (Dans la présente version de l'algorithme de simulation, la CDF pour la pluie est dérivée des dispositions de la Recommandation UIT-R P.618 avec le modèle hydrométéorologique de l'UIT ou celui de Crane, et la CDF pour les brouillages non OSG est dérivée du gabarit de l'epfd correspondant.) Pour calculer l'équation (4), on a besoin d'une variable aléatoire pour chacune des grandeurs suivantes: pluie sur la liaison montante, brouillages non OSG sur la liaison montante de l'apfd, pluie sur la liaison descendante et brouillages non OSG sur la liaison descendante (epfd). Pour calculer les équations (6) ou (7), il suffit d'avoir deux variables aléatoires représentant la pluie sur la liaison descendante et les brouillages non OSG.

Le complément de CDF (CDF_C) pour une valeur donnée de l'affaiblissement par la pluie, α_{dB}, est relié à $A_{0,01}$, affaiblissement minimum par la pluie (dB) pendant 0,01% du temps. D'après la Recommandation UIT-R P.618, on trouve:

$$CDF_C(\alpha_{dB}) = 10^{11,628\left[-0,546+\sqrt{0,298+0,172\log_{10}\left(0,12\frac{A_{0,01}}{\alpha_{dB}}\right)}\right]}/100 \qquad (9)$$

formule valable pour tous les CDF_C inférieurs ou égaux à 1%.

Pour chaque échantillon de variables aléatoires généré indépendamment pour la pluie et pour les brouillages non OSG, la méthode de Monte Carlo calcule leur effet combiné par application d'une l'équation (telle que l'équation (7)) et donne une valeur de la dégradation du système. Ce calcul est répété pour un grand nombre d'échantillons. A partir de ces valeurs de dégradation, on construit un histogramme qui fournit une distribution des dégradations. Sur la base de cette distribution, on trace une courbe de disponibilité du système, compte tenu des caractéristiques de la dégradation par la pluie exprimées par l'équation (9). On répète le processus de simulation pour les cas avec et sans brouillages non OSG. Pour calculer la diminution de disponibilité due à ces derniers brouillages, on retranche la valeur de l'indisponibilité sans les brouillages non OSG de la valeur de l'indisponibilité en présence de ces brouillages. Un résumé de la procédure est donné ci-après.

2.2 Procédure pour l'application de la simulation de Monte Carlo

Etape 1: Construction d'une table indiquant les effets de la pluie, en entrant les valeurs de CDF_C en fonction de la dégradation par la pluie. Construire également une table indiquant les effets des brouillages non OSG en entrant les valeurs de CDF_C en fonction de la dégradation par les brouillages.

Etape 2: Prendre une valeur échantillon de la dégradation dans la table pluie. Prendre également une valeur échantillon de la dégradation dans la table brouillages non OSG.

Etape 3: Calcul de la dégradation totale par application des équations (7) et (8).

Etape 4: Répéter l'Etape 2 pour tous les échantillons pluie et brouillages non OSG.

Etape 5: Construction d'un histogramme de la dégradation totale sur la base des résultats de l'Etape 3.

Etape 6: Répéter les opérations des Etapes de 1 à 5 pour les cas avec et sans brouillages non OSG. Construction des histogrammes pour les cas avec et sans brouillages non OSG.

Etape 7: Consultation des valeurs de CDF_C correspondant à la marge par ciel clair, pour les cas avec et sans brouillages non OSG.

Etape 8: Calcul de l'augmentation d'indisponibilité due aux brouillages non OSG.

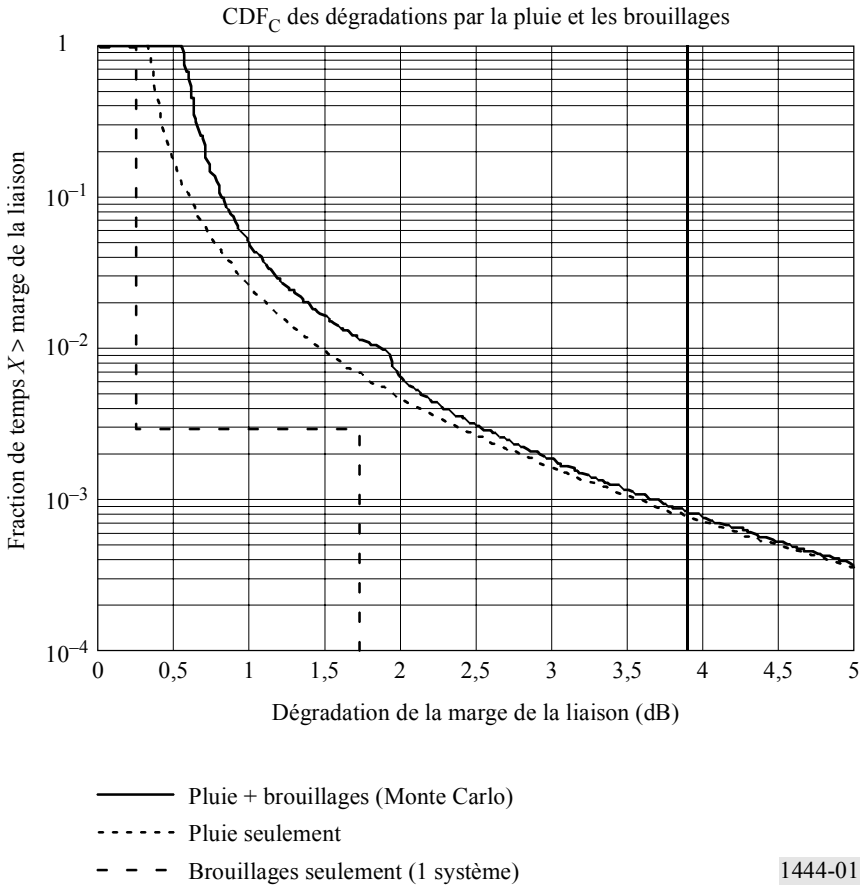
Pour un scénario de liaison donné, la feuille de calcul électronique de l'Annexe 1 permet de déterminer d'autres paramètres nécessaires pour calculer la dégradation de C/N. Le T_D de l'équation (7) est le même que celui de la ligne 27 ou 28 de la feuille de calcul. On a $T_{D_m} = 290$ K, valeur utilisée pour calculer la ligne 38. Pour calculer le rapport I_{DG}/N_D, on combine C/I_{DG} et C/N_D. A noter que C/I_{DG} est obtenu par combinaison des lignes 10 et 11, et C/N_D par combinaison de la ligne 13, de la ligne 15 et de C/I_{DG}.

2.3 Discussion d'un exemple de résultat de la simulation

La Fig. 1 représente, à titre d'exemple, un graphique d'indisponibilité résultant d'une simulation de Monte Carlo appliquée à l'équation (7). Cet exemple de calcul est fait compte tenu des signaux brouilleurs non OSG subissant des évanouissements dus à la pluie; on procéderait de la même manière dans le cas de signaux brouilleurs non OSG ne subissant pas d'évanouissements. Le système SRS étudié est un système type desservant le territoire continental des Etats-Unis d'Amérique. L'antenne de réception simulée se trouve à Seattle (Etat de Washington), c'est-à-dire dans la zone hydrométéorologique D de l'UIT-R. Le gabarit de brouillage utilisé est constitué par les limites provisoires spécifiées par la CMR-97 pour une antenne de réception de 45 cm.

FIGURE 1

Exemple de graphique d'indisponibilité



L'axe horizontal du graphique représente la valeur de la dégradation par rapport au bruit thermique (N_D) (dB) et l'axe vertical est gradué en fractions de temps. La courbe en escalier représente la CDF$_C$ des limites provisoires de l'epfd (ou la CDF en l'absence de l'epfd). On démontre que les limites provisoires donnent 0,25 dB de dégradation pendant 99,7% du temps (d'après $I_{DN}/N_D = -12{,}3$ dB) et 1,67 dB de dégradation pendant le 0,3% restant du temps (conséquence de $I_{DN}/N_D = -3{,}3$ dB).

Les deux autres courbes du graphique ont des allures similaires. Chacune d'elles représente une CDF$_C$ de dégradation, c'est-à-dire l'indisponibilité en fonction de la dégradation. La fraction de temps au-dessus de la courbe correspond à la CDF de la dégradation, ou à une disponibilité fonction de la dégradation. Bien que l'équation (9) donnant la dégradation due à la pluie ne soit valable que pour des fractions de temps au plus égales à 1%, on a, par commodité, utilisé cette équation pour toutes les fractions de temps. Le fait d'étendre la courbe artificiellement jusqu'à la fraction de temps 100% ne fausse pas les résultats car la plupart des indisponibilités intéressantes sont inférieures à 1%. La courbe du bas correspond au cas où il n'y a pas de brouillages non OSG, ce qui entraîne des valeurs plus petites de l'indisponibilité. La courbe supérieure correspond au cas où l'on ajoute des brouillages non OSG.

La partie long terme des brouillages non OSG a pour effet de déplacer la courbe d'indisponibilité de 0,25 dB vers la droite pour la fraction de temps 100%. Ce déplacement est d'autant plus petit que la dégradation est plus grande. La raison en est, comme expliqué plus haut, qu'une augmentation de l'affaiblissement dû à la pluie entraîne une diminution des effets produits par les brouillages. Le déplacement représente la quantité de puissance de porteuse supplémentaire qu'il faudrait introduire, le cas échéant, pour compenser les effets à long terme des brouillages.

Les deux courbes d'indisponibilité englobent un brouillage OSG constant, qui fait que les courbes de CDF_C commencent aux environs de 0,28 dB pour la fraction de temps 100%. La dégradation de 0,28 dB découle d'un rapport $I_{DG}/N_D = -11{,}8$ dB.

La discontinuité observée sur la courbe supérieure est due aux brouillages de courte durée. La fraction de temps correspondant à cette discontinuité est approximativement égale à la somme des fractions de temps correspondant à la pluie et aux brouillages non OSG au niveau de dégradation considéré. (La pluie et les brouillages ont une faible probabilité à ce niveau de dégradation. De ce fait, la probabilité d'occurrence de l'une ou l'autre de ces perturbations est la somme des deux probabilités.) La discontinuité a été déplacée vers la droite de 0,28 dB par rapport à la dégradation de courte durée, en raison de la présence de brouillages OSG constants (voir plus haut). A mesure qu'on s'éloigne de la discontinuité vers la droite sur la courbe qui tient compte des brouillages non OSG, la fraction de temps d'indisponibilité diminue rapidement en direction de la courbe tracée compte non tenu de ces brouillages. Par conséquent, si on introduit une petite marge au-delà de la discontinuité, on fera en sorte que les brouillages non OSG ne causent qu'une augmentation relativement minime de l'indisponibilité du système. Il convient de tenir compte de ces faits dans l'élaboration des gabarits de l'epfd.

La ligne verticale tracée à l'abscisse de dégradation 3,9 dB représente la marge du système ciel clair (CSM, *clear sky margin*), avant la prise en compte des effets produits par les brouillages OSG adjacents dans le SRS, par les brouillages OSG adjacents dans le SFS et par la liaison montante. Les indisponibilités du système sont lues sur les deux courbes en ce point. La différence entre les deux valeurs à l'abscisse de la marge CSM représente l'augmentation d'indisponibilité due aux brouillages non OSG. Le taux d'augmentation de l'indisponibilité divisée par l'indisponibilité est égal à l'augmentation de l'indisponibilité divisée par l'indisponibilité en l'absence de brouillages non OSG. Le graphique de la Fig. 1 est un exemple qui fait apparaître un taux d'augmentation d'environ 8,7%. On notera que la plus petite et la plus grande graduation de l'échelle logarithmique des ordonnées représente respectivement des augmentations d'indisponibilité de 10% et de 100%.

APPENDICE 1

À L'ANNEXE 3

Dans cet Appendice, on établira les équations de la dégradation selon la méthode de Monte Carlo pour le cas où les signaux brouilleurs non OSG subissent des évanouissement dus à la pluie. Dans un rapport, *C*/*N*, on désignera ici par le terme bruit, *N*, la somme de toutes les puissances non désirées dans une situation donnée, par exemple: bruit thermique, élévation de la température de bruit due à la pluie, brouillages OSG et/ou brouillages non OSG.

Le rapport *C/N* total est influencé par la liaison montante et par la liaison descendante selon la formule:

$$C/N = \frac{(C/N)_U \cdot (C/N)_D}{(C/N)_U + (C/N)_D} = \frac{(C/N)_D}{1 + \dfrac{(C/N)_D}{(C/N)_U}} \tag{10}$$

où $(C/N)_U$ et $(C/N)_D$ désignent respectivement le rapport *C/N* sur la liaison montante et le rapport *C/N* sur la liaison descendante. $(C/N)_U$ a pour expression:

$$\begin{aligned}(C/N)_U &= (C/N)_{UC}\, DG_U \\ &= \frac{(C/N)_{UC}\, \alpha_U}{1 + \dfrac{T_{\alpha_U}}{T_U} + \alpha_U \left(\dfrac{I_{UG} + I_{UN}}{N_U} \right)} \\ &= \frac{(C/N)_{UC}}{\dfrac{1}{\alpha_U}\left(1 + \dfrac{T_{\alpha_U}}{T_U}\right) + \left(\dfrac{I_{UG} + I_{UN}}{N_U} \right)}\end{aligned} \tag{11}$$

Les notations utilisées dans l'équation (11) ont la signification suivante:

$(C/N)_{UC}$: rapport porteuse/bruit sur la liaison montante par ciel clair (T_U seulement)

DG_U: facteur de dégradation pour la liaison montante

α_U: affaiblissement par la pluie sur la liaison montante ($0 < \alpha_U < 1$) (variable aléatoire)

I_{UN}: puissance des brouillages causés par les systèmes non OSG sur la liaison montante (variable aléatoire)

I_{UG}: puissance des brouillages reçus en provenance d'autres systèmes OSG sur la liaison montante

T_{α_U}: élévation de la température de bruit due à la pluie sur la liaison montante

T_U: température de bruit du système de réception sur la liaison montante (≈ 617 K)

N_U: puissance du bruit thermique dans le récepteur de la liaison montante.

On a: $N_U = k\, T_U\, B$, où k est la constante de Boltzmann et B désigne la largeur de bande de bruit du récepteur. L'affaiblissement par la pluie, α_U, a pour effet de réduire directement la puissance de la porteuse reçue. Le dénominateur de l'équation (11) représente le bruit équivalent, par rapport à T_U, compte tenu de la température de bruit due à la pluie et des contributions de brouillages des systèmes OSG et des systèmes non OSG. Tout comme la porteuse, les contributions de brouillages sont affaiblies par la pluie dans le rapport α_U.

De la même façon, l'expression de *C/N* sur la liaison descendante est la suivante:

$$(C/N)_D = (C/N)_{DC}\, DG_D$$

$$= \frac{(C/N)_{DC}}{\frac{1}{\alpha_D}\left(1+\frac{T_{\alpha_D}}{T_D}\right)+\left(\frac{I_{DG}+I_{DN}}{N_D}\right)} \tag{12}$$

avec:

$N_D = k\, T_D\, B$

$(C/N)_{DC}$: rapport porteuse/bruit sur la liaison descendante par ciel clair (T_D seulement)

DG_D: facteur de dégradation pour la liaison descendante

α_D: affaiblissement par la pluie sur la liaison descendante ($0 < \alpha_D < 1$) (variable aléatoire)

I_{DN}: puissance des brouillages causés par les systèmes non OSG sur la liaison descendante (variable aléatoire)

I_{DG}: puissance des brouillages reçus en provenance d'autres systèmes OSG sur la liaison descendante

T_{α_D}: élévation de la température de bruit due à la pluie sur la liaison descendante

T_D: température de bruit du système de réception sur la liaison descendante (≈ 125 K)

N_D: puissance du bruit thermique dans le récepteur de la liaison descendante.

On a donc pour le rapport total *C/N*:

$$C/N = \frac{(C/N)_{DC}\, DG_D}{1+\frac{(C/N)_{DC}\, DG_D}{(C/N)_{UC}\, DG_U}}$$

$$= \frac{(C/N)_{DC}}{\frac{1}{\alpha_D}\left(1+\frac{T_{\alpha_D}}{T_D}\right)+\left(\frac{I_{DG}+I_{DN}}{N_D}\right)}\left[1+\frac{(C/N)_{DC}}{(C/N)_{UC}}\,\frac{\frac{1}{\alpha_U}\left(1+\frac{T_{\alpha_U}}{T_U}\right)+\left(\frac{I_{UG}+I_{UN}}{N_U}\right)}{\frac{1}{\alpha_D}\left(1+\frac{T_{\alpha_D}}{T_D}\right)+\left(\frac{I_{DG}+I_{DN}}{N_D}\right)}\right]^{-1} \tag{13}$$

L'équation (13) contient *DG*, facteur de dégradation de $(C/N)_{DC}$, qui est le rapport *C/N* sur la liaison descendante par ciel clair. A noter que $(C/N)_{DC}$ est aussi le facteur de qualité de fonctionnement par rapport auquel toutes les dégradations sont évaluées dans la Méthode A de la Recommandation UIT-R S.1323. On a: $DG_U \le 1$, $DG_D \le 1$, $DG \le 1$ et un facteur de dégradation positif (dB) se définit comme suit: $DG_{\text{dB}} = -10 \log_{10}(DG) \ge 0$. Le facteur de dégradation sur la liaison descendante, DG_D, apparaît deux fois dans l'équation mais il suffit de le calculer une seule fois.

Comme dans la Recommandation UIT-R S.1323, on admet par hypothèse que la pluie et les brouillages non OSG se produisent indépendamment les uns des autres. En revanche, les effet des brouillages sur la dégradation dépendent de la pluie. Plus précisément, la pluie a pour effet d'élever

la température de bruit des systèmes et d'affaiblir les signaux brouilleurs ainsi que la porteuse. C'est la raison pour laquelle l'effet de dégradation des brouillages non OSG est moindre en présence de pluie que par ciel clair. C'est une différence importante entre la méthode proposée ici et la Méthode A de la Recommandation UIT-R S.1323.

Il est possible de simplifier l'équation (13) en appliquant des approximations appropriées. Dans la première approximation, on tient compte uniquement du bruit thermique sur la liaison montante (N_U) par ciel clair. Avec $\alpha_U = 1$, $T_{\alpha_U} = 0$ et $I_{UN} = I_{UG} = 0$ dans l'équation (11), on trouve $DG_U = 1$ (absence de dégradation), d'où:

$$(C/N)_U = (C/N)_{UC}\, DG_U = (C/N)_{UC} \tag{14}$$

L'équation (13) se réduit ainsi à:

$$C/N = \frac{(C/N)_{DC}}{\frac{1}{\alpha_D}\left(1+\frac{T_{\alpha_D}}{T_D}\right)+\left(\frac{I_{DG}+I_{DN}}{N_D}\right)}\left[1+\frac{(C/N)_{DC}}{(C/N)_{UC}}\frac{1}{\frac{1}{\alpha_D}\left(1+\frac{T_{\alpha_D}}{T_D}\right)+\left(\frac{I_{DG}+I_{DN}}{N_D}\right)}\right]^{-1} \tag{15}$$

L'approximation suivante va plus loin: on néglige ici complètement la liaison montante du point de vue de sa dégradation sur l'ensemble de la liaison. En posant que le second facteur de l'équation (15) est égal à l'unité, on obtient une expression simplifiée pour le rapport total C/N:

$$C/N = \frac{(C/N)_{DC}}{\frac{1}{\alpha_D}\left(1+\frac{T_{\alpha_D}}{T_D}\right)+\left(\frac{I_{DG}+I_{DN}}{N_D}\right)} \tag{16}$$

On peut évaluer l'élévation de la température de bruit des systèmes qui figure dans l'équation (16) à l'aide de la formule:

$$T_{\alpha_D} = T_{D_m}\left(1-10^{\frac{-\alpha_{D_{\mathrm{dB}}}}{10}}\right) \tag{17}$$

où T_{D_m} désigne la température de bruit due à la pluie (≈ 290 K) et $\alpha_{\mathrm{dB}} = -10 \log_{10}(\alpha) \geq 0$ est l'affaiblissement dû à la pluie (dB). L'équation (17) s'applique également aux équations (13) et (15).

Le modèle quasi complet de l'équation (16) est valable si le rapport $(C/N)_U$ sur la liaison montante est très supérieur au rapport $(C/N)_D$ sur la liaison descendante. Il en est ainsi dans des situations typiques, en particulier si on utilise la régulation de puissance sur la liaison montante pour compenser l'affaiblissement dû à la pluie. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que, dans l'établissement de l'équations (16), α_U est inférieur à α_D parce que la fréquence utilisée sur la liaison montante est plus élevée. Plus α_U est petit, moins le second facteur de l'équation (13) est négligeable. Les résultats donnés dans le présent Appendice reposent sur l'équation (16).

ANNEXE 4

Méthode pour évaluer l'effet produit par les valeurs de l'epfd$_{down}$ et de l'epfd$_{up}$ pour 100% du temps, selon les dispositions du *recommande* 1.2

On trouvera dans cette Annexe la description d'une méthode qui permet d'évaluer l'effet produit par les valeurs de l'epfd$_{down}$ et de l'epfd$_{up}$ pour 100% du temps, selon le *recommande* 1.2. Cette méthode est la suivante:

Etape 1: Calcul de la valeur de $(C/I)_{epfdup}$ découlant de epfd$_{up}$, le cas échéant:

$$(C/I)_{epfdup} = e.i.r.p._{up} - L_{pup} - L_{gup} - L_{plup} - (epfd_{up} - G_{up}(1\ m^2)) - 10\log(N_{eff}) - B + B_{ref}$$

Etape 2: Calcul de la valeur de $(C/I)_{epfddown}$ découlant de epfd$_{down}$, le cas échéant:

$$(C/I)_{epfddown} = e.i.r.p._{down} - L_{pdown} - L_{gdown} - L_{pldown} - (epfd_{down} - G_{down}(1\ m^2)) - 10\log(N_{eff}) - B + B_{ref}$$

Etape 3: Calcul du rapport $C/(N + I)$ par ciel clair, compte tenu des valeurs de (C/I) calculées dans l'Etape 1 (le cas échéant) et dans l'Etape 2:

$$C/(N+I)_{cs+epfds} = -10\log(10\text{^}(-0{,}1\ C/(N+I)_{cs}) + 10\text{^}(-0{,}1\ (C/I)_{epfdup}) + 10\text{^}(-0{,}1\ (C/I)_{epfddown}))$$

Etape 4: Calcul de la marge M entre $C/(N + I)_{cs+epfds}$ et la valeur seuil mentionnée dans le *recommande* 1.2, $(C/N + I))_{fffthr}$:

$$M = -10\log(10\text{^}(-0{,}1\ C/(N+I)_{fffthr} - 10\text{^}(-0{,}1\ C/(N+I)_{cs+epfds})$$

Etape 5: Si la marge M est négative, on peut s'attendre à une perte de continuité des images vidéo.

Où:

$(C/I)_{epfdup}$:	valeur du rapport porteuse/brouillage due à epfd$_{up}$
$epfd_{up}$:	valeur supposée de l'epfd, sur la liaison montante, des systèmes non OSG, pour 100% du temps (dB(W/(m^2 · B_{ref})))
$e.i.r.p._{up}$:	valeur supposée de la p.i.r.e. sur la liaison montante (dBW)
L_{pup}:	affaiblissement de trajet sur la liaison montante (dB)
L_{gup}:	affaiblissement par les gaz sur la liaison montante (dB)
L_{plup}:	affaiblissement de dépointage de l'antenne sur la liaison montante (dB)
G_{up}(1 m^2):	gain par mètre carré sur la liaison montante (dB)
$(C/I)_{epfddown}$:	valeur du rapport porteuse/brouillage due à epfd$_{down}$
$epfd_{down}$:	valeur supposée de l'epfd, sur la liaison descendante, des systèmes non OSG, pour 100% du temps (dB(W/(m^2 · B_{ref})))
$e.i.r.p._{down}$:	valeur de la p.i.r.e. sur la liaison descendante (dBW)
L_{pdown}:	affaiblissement de trajet sur la liaison descendante (dB)

L_{gdown} : affaiblissement par les gaz sur la liaison descendante (dB)

L_{pldown} : affaiblissement de dépointage de l'antenne sur la liaison descendante (dB)

$G_{down}(1\ m^2)$: gain par mètre carré sur la liaison descendante (dB)

$C/(N+I)_{cs}$: rapport $C/(N+I)$ de la liaison par ciel clair, compte non tenu de l'effet des brouillages non OSG (dB)

$C/(N+I)_{ffthr}$: valeur seuil correspondant à la perte de continuité des images vidéo (dB)

$C/(N+I)_{cs+epfds}$: effet combiné du rapport $C/(N+I)$ par ciel clair et des brouillages non OSG

N_{eff}: nombre effectif de systèmes non OSG

B_{ref}: largeur de bande de référence dans laquelle epfd est défini (dB)

B : largeur de bande de la porteuse OSG (dB).