

RECOMMANDATION UIT-R F.1107-1*

Méthodes probabilistes permettant de calculer les brouillages causés au service fixe par des satellites en orbite géostationnaire

(Question UIT-R 223/9)

(1994-2002)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la Conférence administrative mondiale des radiocommunications chargée d'étudier les attributions de fréquences dans certaines parties du spectre (Malaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) a attribué à un certain nombre de services assurés par des satellites en orbite géostationnaire des bandes de fréquences qui sont également attribuées au service fixe;
- b) que les émissions des stations spatiales installées à bord de satellites en orbite géostationnaire, qui utilisent en partage les mêmes bandes de fréquences, peuvent causer des brouillages aux stations de réception du service fixe;
- c) qu'une coordination entre les nombreuses stations de Terre et les nombreuses stations spatiales risque d'être irréalisable et qu'en conséquence les critères de partage devraient être établis de façon à supprimer la nécessité d'une coordination détaillée;
- d) que, pour établir ces critères de partage, il faut tenir compte des impératifs techniques et d'exploitation des réseaux du service par satellite, des exigences du service fixe et des mesures dont disposent ces deux services;
- e) qu'on a constaté que, du point de vue de l'efficacité d'utilisation du spectre, les critères de partage établis à partir de données statistiques donnaient de meilleurs résultats que ceux définis à partir de l'analyse du cas le plus défavorable;
- f) qu'il est difficile et pénible de rassembler des données statistiques suffisamment précises sur les stations des systèmes de Terre et des systèmes à satellites exploités ou en projet;
- g) que des simulations sur ordinateur du service fixe et des services assurés par des satellites géostationnaires peuvent générer des données statistiques précises permettant de définir des critères de partage pour des scénarios de partage très divers,

recommande

- 1** d'utiliser de façon acceptable, pour définir les critères de partage, les données provenant de simulations sur ordinateur du service fixe et des services assurés par des satellites géostationnaires utilisant en partage les mêmes bandes de fréquences;
- 2** de tenir compte des éléments d'information figurant dans l'Annexe 1 pour définir les critères de partage;
- 3** de tenir compte des éléments d'information figurant dans l'Annexe 2 pour définir les critères de partage concernant les systèmes numériques du service fixe.

* Cette Recommandation doit être portée à l'attention des Commissions d'études 4 (GT 4-9S), 6 (GT 6S), 7 et 8 (GT 8D) des radiocommunications.

ANNEXE 1

Méthode permettant de définir des critères de partage pour protéger le service fixe contre les émissions des stations spatiales installées à bord de satellites en orbite géostationnaire

1 Introduction

La CAMR-92 a attribué au service de radiodiffusion par satellite (télévisuelle et sonore), au service mobile par satellite et aux services scientifiques spatiaux, des bandes de fréquences qui sont également attribuées au service fixe. Elle a également approuvé plusieurs Résolutions et Recommandations demandant à l'UIT-R de résoudre les problèmes de partage découlant de ces diverses attributions. La présente Annexe décrit une méthode qui facilitera l'élaboration de critères de partage entre le service fixe et les services assurés par des satellites géostationnaires.

La Recommandation UIT-R SF.358 propose des niveaux de puissance surfacique visant à protéger le service fixe dans certaines bandes du spectre. De même, le Tableau 21-4 de l'Article 21 du Règlement des radiocommunications prévoit des limites de puissance surfacique précises pour les mêmes bandes. Toutefois, ni la Recommandation ni l'Article du RR ne couvrent toutes les bandes visées par la CAMR-92. Ils ne fournissent pas non plus d'éléments d'information suffisants sur la façon dont on pourrait étendre, autrement que par extrapolation, l'application de ces critères à différents scénarios de partage entre le SF et les services par satellite.

Il ressort clairement de l'Appendice 1 à l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R SF.358 qu'il est acceptable d'utiliser des méthodes de simulation statistiques pour déterminer les niveaux de puissance surfacique qui permettront de protéger le service fixe contre les brouillages imputables aux satellites en orbite géostationnaire. Cet Appendice ne donne pas toutefois de méthode détaillée pour le calcul des données. La présente Annexe précise les paramètres géométriques à prendre en considération pour le calcul de ces données. Elle donne également la description et le code source du langage de base d'un programme capable de générer des données représentatives de nombreux scénarios de partage qui existent ou qui résulteront des attributions de la CAMR-92. L'analyse des données obtenues à l'aide du programme permettra de déterminer les effets des émissions des satellites sur le service fixe en fonction de la puissance surfacique rayonnée par ces satellites, pour des scénarios très divers. On peut déterminer les différences entre les scénarios en entrant dans le programme des paramètres «utilisateur». On trouvera dans l'Appendice 1 à la présente Annexe quelques exemples montrant comment on peut utiliser les données dérivées du programme de simulation pour tenter de résoudre les problèmes liés à la CAMR-92 ou des problèmes similaires.

2 Paramètres géométriques

Si on veut calculer les brouillages causés à un réseau hertzien fixe par des satellites en orbite géostationnaire, il faut identifier tous les satellites que chaque station hertzienne fixe peut voir. Pour ce faire, on peut par exemple déterminer, pour chaque station hertzienne fixe, les limites de l'orbite géostationnaire visible: tous les satellites situés entre ces limites seraient donc visibles.

La Fig. 1 est une représentation géométrique de l'orbite géostationnaire et d'une station hertzienne fixe. Les paramètres importants nécessaires au calcul des brouillages que subit cette station, sont les suivants:

- θ : angle d'élévation du satellite au-dessus de l'horizon
- β : arc de grand cercle sous-tendu par le point sub-satellite, S' , et la station hertzienne fixe, P;
- Ω : angle $S'SP$ correspondant à l'arc β .

Si l'angle d'élévation de l'antenne de la station hertzienne est de 0° et si on ne tient pas compte de la diffraction, le déplacement azimutal A , mesuré depuis le sud, par rapport au point d'intersection entre le plan de l'horizon et l'orbite géostationnaire peut être calculé comme suit:

$$|A| = \cos^{-1} (\operatorname{tg} \varphi / (K^2 - 1)^{1/2}) \quad (1)$$

où:

$$K = R/a$$

a : rayon de la Terre

R : rayon de l'orbite géostationnaire

φ : latitude de la station hertzienne fixe.

La longitude relative entre la station hertzienne fixe et l'intersection entre le plan horizontal et l'orbite géostationnaire peut être exprimée comme suit:

$$\lambda = \sin^{-1} (\sin A (1 - K^{-2})^{1/2}) \quad (2)$$

Etant donné que la partie visible de l'orbite géostationnaire est symétrique de part et d'autre de la direction azimutale zéro, tous les satellites visibles par la station se situent dans la partie longitudinale de l'orbite égale à 2λ .

L'azimut A_z de chaque satellite visible est:

$$A_z = \operatorname{tg}^{-1} (\operatorname{tg} \lambda_r / \sin \varphi) \quad (3)$$

où λ_r est la différence entre la longitude du satellite et celle de la station hertzienne fixe, c'est-à-dire la longitude relative.

Habituellement, l'UIT-R limite ou définit les niveaux de puissance surfacique rayonnée par un satellite en fonction de l'angle d'élévation θ . Cet angle est défini comme suit:

$$\theta = (\pi/2) - (\beta + \Omega) \quad (4)$$

où:

$$\beta = \cos^{-1} (\cos \varphi \cos \lambda_r) \quad (5)$$

$$\Omega = \operatorname{tg}^{-1} (\sin \beta / (K - \cos \beta)) \quad (6)$$

Généralement, la puissance surfacique est définie comme suit:

$$F(\theta) = \begin{cases} pfd_{low} & \text{pour } 0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ \\ pfd_{low} + 0.05 (pfd_{hi} - pfd_{low}) (\theta - 5) & \text{pour } 5^\circ \leq \theta \leq 25^\circ \\ pfd_{hi} & \text{pour } 25^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \end{cases} \quad (7)$$

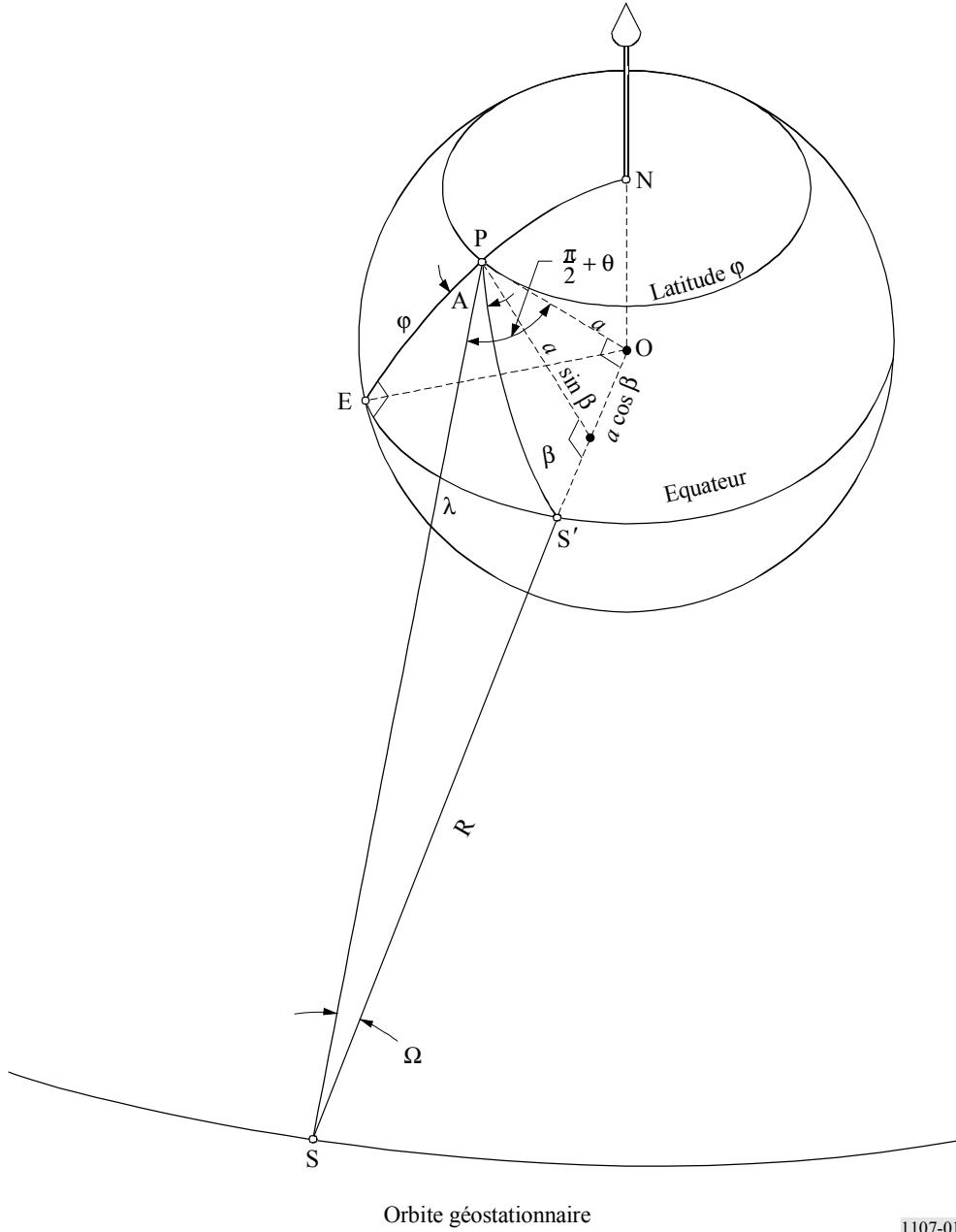
où:

pfd_{low} : niveau admissible de puissance surfacique pour de petits angles d'incidence, exprimé généralement en dB(W/m²) dans une bande quelconque de 4 kHz

pfd_{hi} : niveau admissible de puissance surfacique pour de grands angles d'incidence, également exprimé en dB(W/m²) dans une bande de 4 kHz.

FIGURE 1

Géométrie de l'orbite géostationnaire et d'une station hertzienne fixe



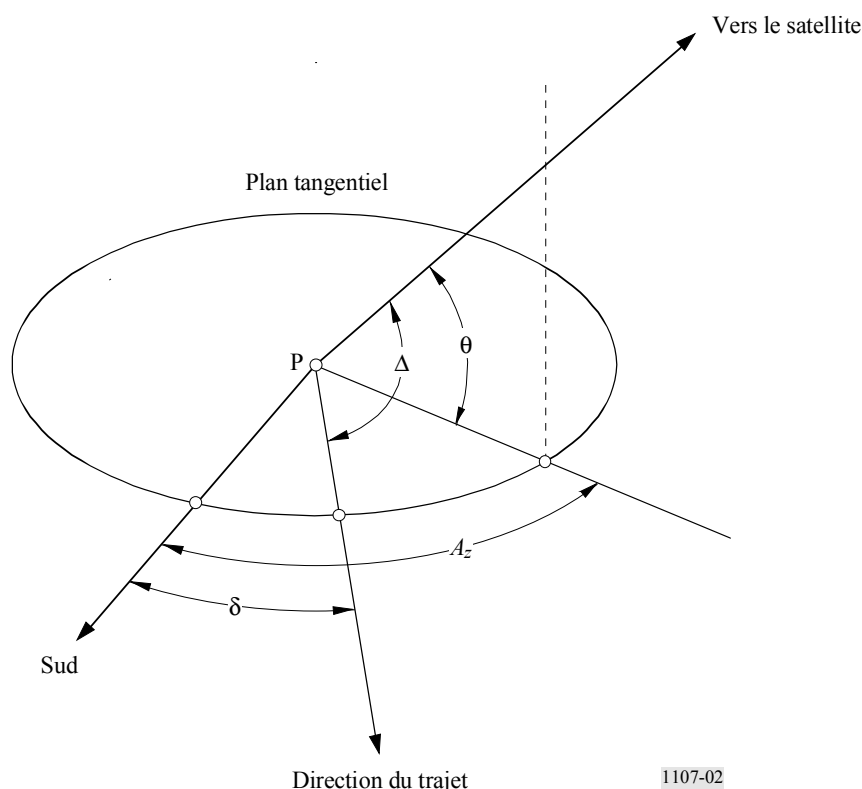
Enfin, l'angle Δ entre l'axe du faisceau incident du satellite brouilleur et la direction de pointage de l'antenne du récepteur de la station hertzienne fixe (Fig. 2) est déterminé comme suit:

$$\Delta = \cos^{-1} (\cos \theta \cos (A_z - \delta)) \quad (8)$$

où δ est la direction de pointage de l'antenne du récepteur de la station hertzienne fixe par rapport au sud.

FIGURE 2

Géométrie déterminant l'angle hors faisceau par rapport à un satellite



Si on suppose que le gain d'antenne du récepteur de la station hertzienne fixe est égal dans tous les plans (de l'horizontal au vertical), le gain dans la direction du satellite brouilleur, $G(\Delta)$, peut alors être déterminé à partir des équations relatives au diagramme de gain d'antenne figurant dans la Recommandation UIT-R F.699.

3 Calculs des brouillages

On calcule la puissance brouilleuse totale au niveau du récepteur de la station hertzienne fixe en ajoutant les contributions de chaque satellite visible. La contribution de chaque satellite est déterminée comme suit:

$$I_B = f(\theta) \times g(\Delta) \times \lambda^2 / 4\pi h \quad (9)$$

où:

$$f(\theta) = 10^{F(\theta)/10} \quad (10)$$

$$g(\Delta) = 10^{G(\Delta)/10} \quad (11)$$

λ : longueur d'onde de la porteuse

h : affaiblissement du système d'alimentation

L'équation (9) contient le facteur $\lambda / 4\pi h$ car $f(\theta)$ est exprimé en $W/(m^2 \cdot 4 \text{ kHz})$.

4 Simulation de réseau pour le calcul des brouillages

Le choix d'une méthode permettant de retenir les valeurs de puissance surfacique propres à protéger le service fixe est dicté par des considérations très pragmatiques. Par exemple, il est théoriquement possible de déterminer les brouillages causés par les émissions des satellites au service fixe en effectuant un calcul exact intégrant toutes les combinaisons d'émissions de satellites existantes et en

projet – récepteurs du service fixe existants et en projet, tout en tenant compte de facteurs temporels, spatiaux et spectraux. Des considérations pratiques toutefois, qui tiennent à la collecte des données nécessaires à un tel calcul, ne serait-ce que pour un type de scénario de partage, excluent en général cette possibilité.

D'autres méthodes de calcul des critères de protection, par exemple celle fondée sur l'analyse du «cas le plus défavorable» risquent, dans certains cas, de ne pas être assez «audacieuses» lorsqu'il s'agit de définir l'utilisation d'une ressource précieuse et limitée. De plus, les expériences de laboratoire ne sont pas vraiment indiquées pour des raisons spatiales et quantitatives. Enfin, étant donné qu'il n'est pas certain que l'on puisse prévoir toutes les situations possibles concernant les nouveaux services et que les services existants sont en évolution constante, les résultats de l'une quelconque des méthodes susmentionnées doivent sans cesse être réévalués.

Pour ces raisons, une analyse du problème par simulation sur ordinateur est la méthode la plus indiquée pour obtenir des résultats valables. Des simulations sur ordinateur utilisant la méthode de Monte Carlo pour générer des applications de service représentatives, peuvent créer des données simulées pouvant être utilisées à la place des données réelles ou des données mesurées.

L'Appendice 1 décrit une simulation informatique mise en œuvre selon la méthode de Monte Carlo qui permet d'examiner divers scénarios de partage service fixe/service par satellite. Ce programme peut servir à tester la qualité de fonctionnement de systèmes particuliers du service fixe pour des configurations de satellites et des niveaux de puissance surfacique spécifiques. On peut passer plusieurs fois le programme (itérations successives) pour déterminer les avantages et les inconvénients des paramètres système qui autoriseraient un partage.

Les Fig. 3 à 7 donnent les résultats d'exemples de scénarios de partage entre le service fixe et les services assurés par satellite.

APPENDICE 1

À L'ANNEXE 1

Description d'un exemple de programme de simulation sur ordinateur

1 Hypothèses concernant le réseau

Pour les modèles de satellites et de réseaux hertziens fixes mis en œuvre dans le programme, les hypothèses sont les suivantes:

- des plates-formes sont uniformément réparties sur la totalité de l'orbite; elles ont le même niveau de p.i.r.e. et produisent la même puissance surfacique à la surface de la Terre;
- le réseau hertzien fixe est composé de 50 bonds répartis de façon aléatoire dans une zone comprise approximativement entre 65° de longitude et 22,5° de latitude. Tous les récepteurs ont la même température de bruit, les mêmes caractéristiques d'antenne (voir la Recommandation UIT-R F.699) et le même espacement (50 km);
- on utilise des calculs en espace libre et on ne tient compte ni des conditions atmosphériques, ni de la polarité.

2 Paramètres d'entrée/de sortie

Le programme de simulation permet à l'opérateur de choisir et de contrôler les paramètres d'entrée suivants:

- latitude moyenne des trajets (droite équivalente);
- température de bruit du récepteur;
- gain d'antenne maximal du récepteur;
- nombre de trajets hertziens fixes à analyser;
- espacement entre les satellites;
- évitement d'orbite;
- puissance surfacique pour de petits angles d'incidence;
- puissance surfacique pour de grands angles d'incidence.

Le programme produit deux fichiers en sortie contenant des bases de données que l'utilisateur peut analyser.

La première base de données (RAD_RTS.DAT) serait tout indiquée pour analyser les effets des brouillages subis par des réseaux de faisceaux hertziens fixes analogiques pour différentes configurations de réseaux à satellites. Ce fichier est constitué d'une série d'enregistrements, chaque enregistrement donnant le brouillage total en bande de base (pW) pour une largeur de bande de 4 kHz et un trajet hertzien fixe de 50 bonds. Les données pourraient servir à tracer des courbes de distribution cumulative faisant apparaître la dégradation que subirait un certain nombre de réseaux analogiques en fonction des niveaux de brouillage. Il y a dans le fichier deux fois plus d'enregistrements que de trajets hertziens fixes analysés, étant donné qu'il y a deux directions pour chaque trajet. Le fichier pourrait en contenir au maximum 600. Le nombre d'enregistrements est fonction du nombre maximal de trajets que pourrait traiter le programme, soit 300.

La seconde base de données (RAD_STE.DAT) peut également servir à analyser les conséquences des brouillages que les émissions de satellites causent aux réseaux numériques du service fixe. Chaque enregistrement du fichier correspond au brouillage (I) (W) que subit un récepteur hertzien fixe. Les enregistrements sont groupés 50 par 50 afin de pouvoir analyser chaque trajet complet de 50 bonds, dans les deux directions. A chaque trajet correspondra 100 enregistrements (50×2). Le fichier contiendra au plus 30 000 enregistrements ($50 \times 2 \times 300$).

Si le fichier de taille maximale obtenu après un passage du programme ne constitue pas un échantillon de données suffisamment important, on peut repasser le programme et les données ainsi obtenues seront automatiquement ajoutées.

3 Fonctionnement du programme

Le programme commence par le choix de la latitude, spécifiée par l'utilisateur, du centre du trajet hertzien fixe puis se poursuit par le calcul de sa longitude qui est une variable aléatoire (comprise dans une surface délimitée par 65° de longitude). L'azimut (par rapport au sud) de la direction du trajet, ou droite équivalente, est calculé comme une variable aléatoire avec une distribution uniforme entre 0 et 2π . Les coordonnées de la première station hertzienne fixe sont déterminées à

partir de la latitude, de la longitude et de l'angle de droite équivalente. La somme des brouillages, causés au récepteur de la station hertzienne fixe par tous les satellites visibles, est ensuite calculée et stockée en vue d'une utilisation future.

Pour déterminer les coordonnées de la station suivante sur le trajet on suppose que la direction du trajet est une variable aléatoire suivant une distribution uniforme et située à $\pm 25^\circ$ par rapport à la droite équivalente du trajet et que la longueur du trajet est de 50 km. La somme des brouillages causés au récepteur du nouveau site par tous les satellites visibles est de nouveau calculée selon la méthode décrite ci-dessus.

Pour les 50 bonds du trajet, on détermine les coordonnées de la station et on calcule les brouillages: un nouveau trajet est choisi de façon aléatoire et le processus de calcul des brouillages est répété jusqu'à 300 fois. Si l'évitement d'orbite est pris en considération (choix de l'utilisateur), le programme teste chaque site afin de déterminer si sa direction se trouve dans la portion de l'orbite à éviter. Si tel est le cas, les coordonnées sont rejetées. On choisit alors une nouvelle direction et une nouvelle station.

Les informations sur les brouillages qui sont stockées constituent les fichiers de sortie (RAD_RTS.DAT, RAD_STE.DAT).

Dans le cas de réseaux analogiques, l'information dont on a besoin c'est le brouillage en bande de base. Pour obtenir cette information, le programme suppose qu'il existe une relation linéaire entre le rapport brouillage à l'entrée du récepteur/bruit et le rapport brouillage en bande de base/bruit, qui s'exprime comme suit:

$$i_c/n_c = i_b/n_b \quad (12)$$

ou:

$$i_b = (i_c/n_c) n_b \quad (13)$$

Le brouillage à l'entrée du récepteur dépend des caractéristiques du réseau, comme cela a été expliqué au § 3 de l'Annexe 1. Par conséquent:

$$i_c = I_s \text{ (voir l'équation (9))}$$

Le bruit thermique à l'entrée du récepteur est fonction de la température de bruit du récepteur hertzien fixe

$$n_c = k T_s b$$

où:

k : constante de Boltzmann

T_s : température de bruit du système

b : largeur de bande de la voie téléphonique (4 kHz).

La Recommandation UIT-R SF.358 précise que pour un modèle approprié de faisceau hertzien fixe, la puissance de bruit thermique de la voie est:

$$n_b = 25 \text{ pW0p}$$

Le programme utilise cette valeur pour déterminer le brouillage en bande de base au niveau de chaque récepteur de chaque station (voir l'équation (13)) et fait la somme des brouillages causés aux 50 stations pour chaque trajet afin de déterminer le brouillage total par trajet.

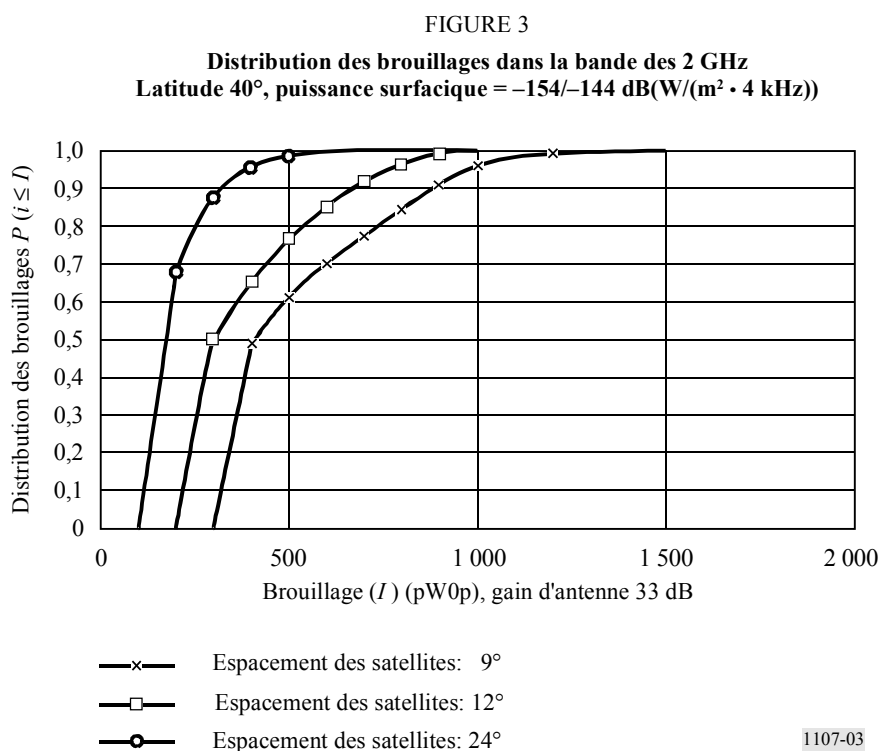
Le second fichier (RAD_STE.DAT), créé par le programme, est une compilation des valeurs calculées de I_s .

Les calculs effectués par le programme sont limités par les facteurs suivants:

- le point central d'un trajet doit être situé entre 15° et 70° de latitude;
- le programme suppose que les satellites sont situés dans des plans équatoriaux exacts et n'autorise pas les orbites inclinées.

4 Exemple de résultats de scénario

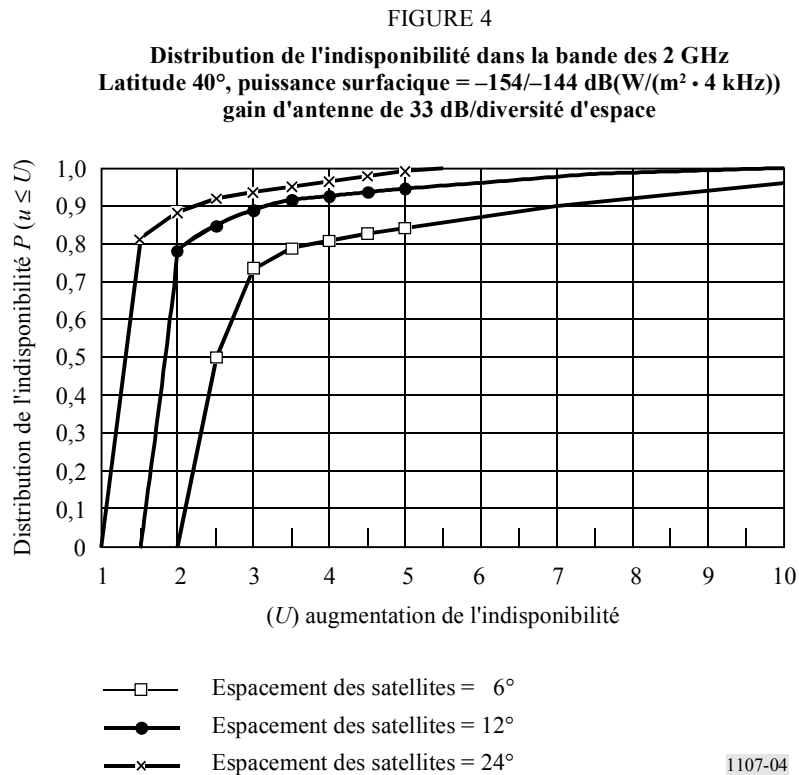
La Fig. 3 donne les résultats d'une analyse des données RAD_RTS.DAT pour trois scénarios de partage dans la bande des 2 GHz. On suppose que tous les systèmes fixes sont composés de trajets MRF à 50 bonds, que les antennes des récepteurs ont un gain de 33 dB et que la température de bruit des récepteurs est de 1750 K. Ces paramètres sont représentatifs de ceux décrits dans la Recommandation UIT-R F.758. Pour les trois modèles de réseaux à satellites considérés, les limites des niveaux de puissance surfacique sont comprises entre -154 et -144 dB(W/m²) pour une largeur de bande de 4 kHz. Ces trois modèles ne diffèrent que par le niveau d'occupation de l'orbite (espacements de 9°, 12° et 24°).



Les résultats font apparaître que, lorsque les satellites sont espacés de 6° ou plus, les systèmes MRF du service fixe subiraient des brouillages inférieurs à 1000 pW sur près de 95% des trajets, si on suppose une distribution uniforme des directions des trajets. Ces résultats donnent également à penser que les systèmes du service fixe pourraient tolérer des niveaux de puissance surfacique (rayonnée par les satellites) plus élevés, moyennant une occupation moindre de l'orbite, tout en respectant le critère des 10%.

La Fig. 4 illustre les résultats d'une analyse des données RAD_STE.DAT. En l'occurrence, la base de données sur les brouillages ainsi obtenue a été appliquée à un système théorique du service fixe utilisant en partage la bande des 2 GHz, fonctionnant en numérique, en MAQ-64, et en diversité d'espace (voir les paramètres de la Recommandation UIT-R F.758). Des courbes décrivant l'effet cumulatif sur l'indisponibilité (pourcentage de temps pendant lequel le taux d'erreur est inférieur à 1×10^{-3}) ont été établies à l'aide des méthodes décrites dans la Recommandation UIT-R P.530. L'augmentation de l'indisponibilité de trajets numériques à 50 bonds en diversité d'espace résultant

des brouillages causés par des satellites est portée en abscisse (voir la Fig. 4). Par exemple, pour près de 80% des trajets subissant les brouillages d'une constellation de satellites espacés de 24° les uns des autres, l'augmentation de l'indisponibilité serait inférieure à 50%. Cette analyse donne quelques éléments d'information concernant la sensibilité apparente des systèmes numériques fixes. Par ailleurs, il faudra bien comprendre les conséquences pour le partage lorsque l'on envisagera de modifier la définition de l'indisponibilité des systèmes numériques (voir la Recommandation UIT-T G.826).

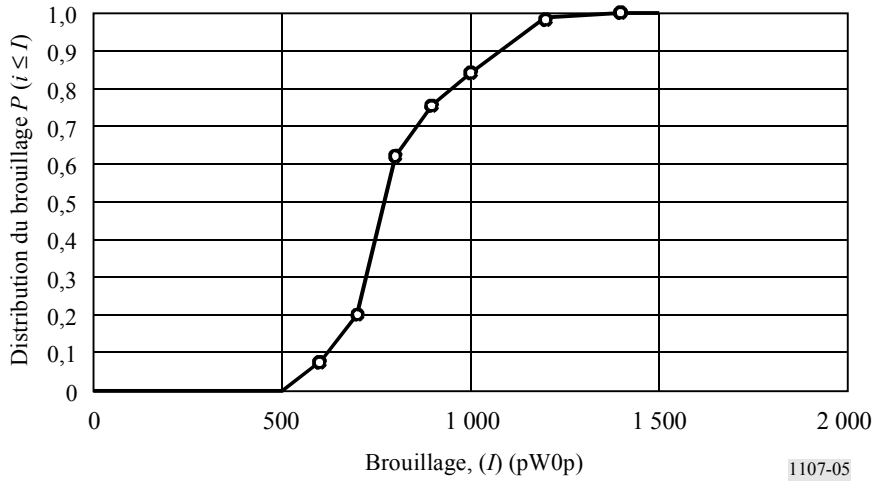


La Fig. 5 montre les résultats du partage du spectre entre un système à satellites théorique (espacement des satellites de 60°) (éventuellement un système du SRS (sonore) ou du SMS) et une configuration représentative de systèmes analogiques fixes dans la bande des 1,5 GHz. On suppose que le niveau admissible de puissance surfacique du satellite pour de grands angles d'incidence est de -135 dB(W/m²) dans une bande de 4 kHz. Le niveau de puissance surfacique pour de petits angles d'incidence a été maintenu à -154 dB(W/m²). Le niveau de puissance surfacique pour de grands angles d'incidence est de 9 dB supérieur au niveau de puissance surfacique dans les bandes adjacentes. Les résultats (provenant de RAD_RT.S.DAT) font apparaître que plus de 85% des systèmes fixes subiraient un brouillage inférieur à 1 000 pW pour cette configuration.

Les Fig. 6 et 7 donnent les résultats d'une étude partielle. Il s'agissait d'analyser, sur un plan quantitatif, la sensibilité des distributions de brouillage des systèmes du service fixe aux variations des niveaux de puissance surfacique rayonnée par les satellites d'une part, et de la bande d'exploitation d'autre part, en supposant que tous les autres paramètres du scénario de partage restent constants. Les résultats font apparaître qu'il faut choisir avec soin les systèmes du service fixe qui sont appelés à être exploités dans des bandes de fréquences utilisées en partage avec d'autres services, si l'on veut maintenir le même niveau de qualité de fonctionnement dans toutes les bandes.

FIGURE 5

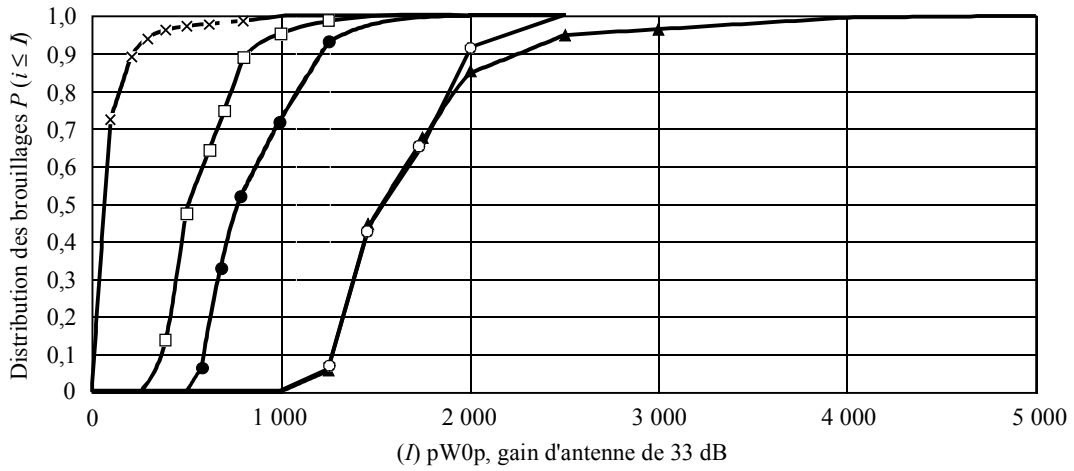
Distribution du brouillage – Espacement des satellites 60°
 Bande des 1,5 GHz, puissance surfacique = -154/-134 dB(W/(m² · 4 kHz)), latitude 25°



1107-05

FIGURE 6

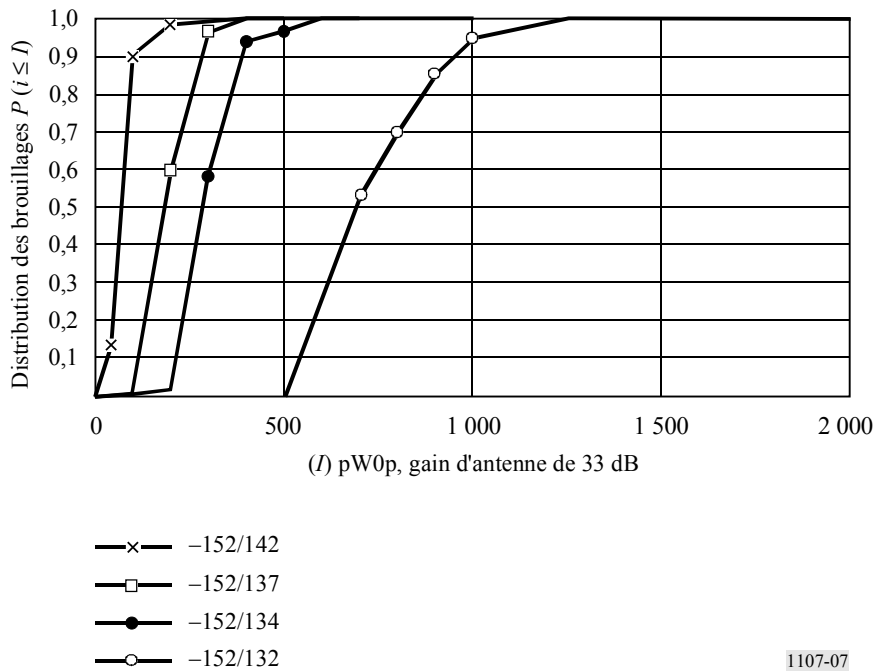
Bande des 1,5 GHz – Etude des brouillages entre les services par satellite et le service fixe
 Latitude 40°, espacement des satellites 45°, puissance surfacique en dB(W/(m² · 4 kHz))



1107-06

FIGURE 7

Bande des 2,5 GHz – Etude des brouillages entre les services par satellite et le service fixe
Latitude 40°, espacement des satellites 45°, puissance surfacique en dB(W/(m² · 4 kHz))



1107-07

5 Listage de RAD_REL.BAS

Le listage suivant a été établi à l'aide d'un compilateur commercial (Microsoft QuickBasic versions 4 et 4.5). Pour d'autres compilateurs, il sera peut-être nécessaire d'apporter quelques modifications au code afin d'assurer un bon fonctionnement. Comme indiqué au § 1 du présent Appendice, il est possible d'adapter les paramètres du réseau qu'il s'agisse de réseaux hertziens fixes ou de réseaux à satellites, afin de pouvoir analyser des situations de partage très diverses.

Il faudra veiller à entrer les instructions numérotées ci-après ayant un code de plus d'une ligne, sans caractères de commande c'est-à-dire sans «retour du chariot» ou «changement de ligne».

REFERENCE: A.S. MAY ET M.J. PAGONES. MODEL FOR COMPUTATION OF INTERFERENCE FROM GEOSTATIONARY SATELLITES. BSTJ, VOL. 50, NO. 1, JANVIER 1971, PAGES 81-102.

```
' PROGRAMME PRINCIPAL
100 CLS : SCREEN 9
155 RANDOMIZE TIMER: RTS = 49:
    STS = 50:RTS=# RR ROUTES, STS=# STATION SITES PER ROUTE
160 CLS : PI = 3.141593: RA = .01745329#:
    DE = 57.29578: T = 22.48309
' T = LONGUEUR MAXIMALE DU GRAND CERCLE (DEGRE) D'UN TRAJET A
    50 BONDS
162 K = 6.629957: K2 = K * K: K4 = 1 / (K2 - 1) ^ .5:
    K2I = 1 / K2: PI2 = PI / 2
165 GOSUB 1650'ENTER LATITUDE OF SYSTEMS
170 GOSUB 1700'ENTER FREQUENCY
```

```

175 GOSUB 1750'ENTER RR RECEIVER NOISE TEMP
180 GOSUB 1800'ENTER RR RECEIVE MAXIMUM ANTENNA GAIN
185 GOSUB 3000'ENTER # OF RR ROUTES
190 GOSUB 4000'ENTER AMOUNT OF ORBIT AVOIDANCE
195 GOSUB 5000'ENTER SATELLITE ORBIT SEPARATION
200 GOSUB 6000'ENTER LOW/HIGH ANGLE PFD LIMIT VALUES
210 GOSUB 7000'MAKE REVISIONS OF ABOVE ENTRIES
215 PF = .005 * (PFH - PFL): PFDL = 10 ^ (.1 * PFL):
    PFDH = 10 ^ (.1 * PFH)
220 CLS : DIM A!(RTS, STS): DIM B!(1 + 2 * RTS): DIM C!(RTS, STS)
225 FOR Q = 0 TO RTS: FOR V = 0 TO STS: A(Q, V) = 0: C(Q, V) = 0:
    NEXT: NEXT
227 FOR Q = 0 TO (1 + 2 * RTS): B(Q) = 0: NEXT
230 MU = 1.6212E+18 / (FREQ ^ 2 * NTEMP)
235 MU1 = kTb1/Nc
' MU=Nc((c/FREQ)^2/4Pi)/kTb1, MU1 = kTb1/Nc
' où:
'
'           Nc=puissance de bruit de la voie téléphonique
'           =25 picowatts
'
'           c/FREQ=longueur d'onde de la transmission
'
'           k=constante de Boltzmann, 1.3805E-23
'
'           T=température de bruit du récepteur en degré Kelvin
'
'           b=largeur de bande du canal, 4 kHz
'
'           l=perte du système d'alimentation 3 dB
'
DEBUT DES CALCULS CONCERNANT LES TRAJETS
240 FOR M = 0 TO RTS
243 LOCATE 13, 1: PRINT STRING$(30, 0)
244 LOCATE 13, 1: PRINT "CALCULATING ROUTE"; M
245 LONGREF = T * (2 * RND - 1)
' LONGREF est la longitude du milieu de référence
250 TAU = 90 * RND: TAURA = TAU * RA
' TAU est la direction de la droite équivalente du réseau hertzien
260 LATRO = (((T / 2) * COS(TAURA)) + LATREF)
265 LONGRO = -((T / 2) * SIN(TAURA) + LONGREF)
' LATRO, LONGRO sont la latitude et la longitude de la première station hertzienne
275 'X = 319.5 + ((LONGRO * 319.5) / (1.5 * T)):
    'Y = (1 - COS(TAURA)) * 77.5
'
' X, Y= SCREEN COORDINATES FOR PLOTTING THE SITES. REMOVE ""
' FROM 275, 530 - 550 FOR GRAPHIC REPRESENTATION OF ROUTES.

```

```

' Recherche de l'horizon du satellite à partir des coordonnées de la première station hertzienne
300 A = K4 * TAN(LATR0 * RA): A2 = ((1 - A * A) ^ .5) / A
305 AZMUTH = ATN(A2)
' Azimut = angle par rapport à l'horizon, mesuré depuis le sud, à l'emplacement de la station hertzienne
310 AZ = SIN(AZMUTH) * ((1 - K2I) ^ .5)
315 LONGHOR = ATN(AZ / ((1 - AZ * AZ) ^ .5))
' LONGHOR est la différence de longitude entre le faisceau hertzien et le point
' d'intersection entre le plan de l'horizon et l'orbite
320 LONHOR = LONGHOR * DE
' Calcul des brouillages causés par tous les satellites visibles à une station hertzienne sur un trajet
330 LONGR = LONGR0: LATR = LATR0: LONS = 0
' LONGR=Longitude du faisceau hertzien, LATR=Latitude du faisceau hertzien,
' LONS=longitude du prochain satellite visible
' Calcul des brouillages pour chaque station hertzienne
335 FOR N = 0 TO STS
340 RR = (TAU + 25) - (50 * RND): RRD = RR * RA
' RR, RRD est la direction de pointage vers la prochaine station
' Calcul des coordonnées de la prochaine station hertzienne
' Recherche du satellite le plus visible à l'est
350 DO WHILE LONS <= LONHOR + LONGR
360 LONS = LONS + SEP: LOOP
364 LONS = LONS - SEP
370 'Calcul des brouillages station par station
380 DO WHILE LONS >= LONGR - LONHOR
390 GOSUB 2360
395 IF GAMMAW < AVOID OR GAMMAE < AVOID
    THEN A(M, N) = 0: C(M, N) = 0: GOTO 340
400 LONS = LONS - SEP: LOOP
' Calcul des coordonnées de la station hertzienne suivante
411 J = LONGR: L = LATR
420 P = (SIN(LATR * RA)) * COS(.4496 * RA) -
    (COS(LATR * RA)) * (SIN(.4496 * RA)) * (COS(RRD))
430 Q = P / (1 - P * P) ^ .5
435 LATR = DE * ATN(Q) 'LATITUDE OF THE NEXT RR SITE
440 R = SIN(.4496 * RA) * SIN(RRD) / (1 - P * P) ^ .5:
    S = R / (1 - R * R) ^ .5: DELLONGR = ATN(S) * DE

```

```

450  LONGR = LONGR + DELLONGR 'LONGITUDE OF NEXT RR SITE
'    Calcul de l'horizon du satellite pour la nouvelle station hertzienne
470  A = K4 * TAN(LATR * RA): A2 = ((1 - A * A) ^ .5) / A
480  AZMUTH = ATN(A2)
'Azimut = angle par rapport à l'horizon, mesuré depuis le sud, à l'emplacement de la station hertzienne,
référence sud
490  AZ = SIN(AZMUTH) * ((1 - K2I) ^ .5)
500  LONGHOR = ATN(AZ / ((1 - AZ * AZ) ^ .5))
'    LONGHOR est la longitude du point d'intersection horizon du faisceau hertzien/orbite
520  LONHOR = LONGHOR * DE
'    Impression du trajet du faisceau hertzien sur l'écran
530  'Y1 = ((L - LATR) / T) * 155: X1 = (DELLONGR / (3 * T)) * 480
540  'LINE (X, Y)-(X + X1, Y + Y1)
550  'X = X + X1: Y = Y + Y1
555  NEXT ' Calcul des coordonnées de la station hertzienne suivante
560  NEXT ' Calcul des coordonnées du trajet hertzien suivant
'    Calcul des fichiers de sortie
600  FOR M = 0 TO RTS
610      FOR N = 1 TO STS
620          B(M) = B(M) + A(M, N)
630      NEXT N
640  NEXT M
650  FOR G = 0 TO RTS
660      FOR H = 0 TO STS - 1
670          B(RTS + 1 + G) = B(RTS + 1 + G) + C(G, H)
680      NEXT H
690  NEXT G
700  OPEN "RAD_RTS.DAT" FOR APPEND AS #1
710  FOR M = 0 TO 1 + (2 * RTS)
720  'IMPRIMER "TRAJET"; M; : IMPRIMER "="; B(M)
725  PRINT #1, B(M)
730  NEXT
735  CLOSE #1
740  OPEN "RAD_STE.DAT" FOR APPEND AS #2
750  FOR M = 0 TO RTS: FOR N = 0 TO STS
755  A(M, N) = A(M, N) * MU1
760  PRINT #2, A(M, N): NEXT: NEXT

```

```

765 PRINT #2, 0
770 FOR M = 0 TO RTS: FOR N = 0 TO STS
775 C(M, N) = C(M, N) * MU1
780 PRINT #2, C(M, N): NEXT: NEXT
790 CLOSE #2
830 'IMPRIMER "PROGRAMME ACHEVE, APPUYER SUR N'IMPORTE QUELLE TOUCHE POUR FINIR"
840 A$ = INKEY$: IF A$ = " " THEN 840
850 IF A$ = "r" OR A$ = "R" THEN LOCATE 14, 1:
PRINT STRING$(70, 0): GOTO 225 'REPEAT DATA BASE CALC.
860 IF A$ = "e" OR A$ = "E" THEN CLS : GOTO 1000
870 GOTO 830
1000 END ' END OF RAD_REL.BAS

```

'Sous-programme pour entrer la latitude du trajet en faisceau hertzien

```

1650 LOCATE 4, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 5, 1:
PRINT STRING$(20, 0)
1660 LOCATE 4, 1: PRINT "1) ENTER NETWORK LATITUDE (15 to 70) "
1670 INLEN% = 6: GOSUB 14000
1680 LATREF = VAL(BUFF$)
'LATREF est la latitude au centre de la droite équivalente
1690 IF (LATREF > 70! OR LATREF < 15!) THEN LOCATE 22, 1:
PRINT "Out of Range, RE-ENTER, ": FOR C = 1 TO 100000:
NEXT: LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(40, 0): GOTO 1650
1695 RETURN

```

'Sous-programme pour entrer la fréquence de fonctionnement

```

1700 LOCATE 6, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 7, 1:
PRINT STRING$(20, 0)
1710 LOCATE 6, 1: PRINT "2) ENTER TRANSMIT CARRIER FREQUENCY <GHZ>"
1720 INLEN% = 6: GOSUB 14000
1730 FREQ = VAL(BUFF$)'FREQ = FREQUENCY OF SHARING SCENARIO IN GHZ
1740 IF FREQ <= 0! OR FREQ > 100! THEN LOCATE 22, 1:
PRINT "OUT OF RANGE, RE-ENTER, ": FOR C = 1 TO 100000: NEXT:
LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(78, 0): GOTO 1700
1745 RETURN

```

'Sous-programme - entrer la température de bruit du récepteur de faisceau hertzien

```

1750 LOCATE 8, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 9, 1:
PRINT STRING$(20, 0)
1760 LOCATE 8, 1:
PRINT "3) ENTER AVE. VALUE OF RR RECEIVER NOISE TEMP <DEG
KELVIN>"

```



```

1770  INLEN% = 6: GOSUB 14000
1780  NTEMP = VAL(BUFF$)'NTEMP=NOISE TEMP OF RR RECEIVERS
1790  IF NTEMP <= 0 THEN LOCATE 22, 1:
      PRINT "OUT OF RANGE, RE-ENTER,": FOR C = 1 TO 100000: NEXT:
      LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(78, 0): GOTO 1750
1795  RETURN

```

'Sous-programme pour entrer le gain d'antenne du récepteur de faisceau hertzien et calculer les paramètres intermédiaires

```

1800  LOCATE 10, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 11, 1:
      PRINT STRING$(20, 0)
1805  LOCATE 10, 1:
      PRINT "4) ENTER MAX RADIO-RELAY RECEIVE ANTENNA DB GAIN"
1810  INLEN% = 6: GOSUB 14000
1820  GMAX = VAL(BUFF$)'GMAX is MAX RR rec. Antenna gain
1830  IF GMAX < 0 OR GMAX > 99 THEN LOCATE 22, 1:
      PRINT "OUT OF RANGE, RE-ENTER": FOR C = 1 TO 100000: NEXT:
      LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(40, 0): GOTO 1800
1840  DLAMBDA = 10 ^ ((GMAX - 7.7) / 20)
      'DLAMBDA=RAPPORT DIAMETRE/LONGUEUR D'ONDE D'ANTENNE RECOMMANDE
1850  G1 = 2 + 15 * (LOG(DLAMBDA) / LOG(10))
      'PRINT "DLAMBDA="; DLAMBDA
1860  PHYM = (20 / DLAMBDA) * (GMAX - G1) ^ .5
1870  RETURN

```

' Sous-programme pour calculer les angles d'élévation du faisceau hertzien et du satellite, l'espacement angulaire faisceau hertzien/satellite et les brouillages

```

2360  W = (LONS - LONGR):
      ASAT = ATN((TAN(W * RA)) / SIN(LATR * RA)): ASAT1 = ASAT
'
      ASAT=ANGLE D'AZIMUT PAR RAPPORT AU POINT SUB-SATELLITE, RAPPORTE AU SUD
2370  U = COS(LATR * RA) * COS(W * RA):
      BETA = ATN((1 - U * U) ^ .5 / U)
2380  OMEGA = ATN(SIN(BETA) / (K - COS(BETA)))
2390  THETAR = PI2 - (BETA + OMEGA): THETA = THETAR * DE
      THETA=ELEVATION ANGLE TO SAT FROM RR
2400  VW = (COS(THETAR)) * COS(ASAT - RRD):
      GAMMAW = (PI2 - ATN(VW/SQR(1 - VW * VW))) * DE
'
      GAMMAW = ANGLE ENTRE LE SATELLITE ET LE RECEPTUR POINTE VERS L'OUEST
2415  GAMMAE = 180 - GAMMAW
'
      GAMMAE = ANGLE ENTRE LE SATELLITE ET LE RECEPTUR POINTE VERS L'EST
2420  IF GAMMAW < 0 THEN GAMMAW = 180 + GAMMAW

```

```

2425  IF GAMMAE < 0 THEN GAMMAE = 180 + GAMMAE
2430  IF (GAMMAW <= AVOID) OR (GAMMAE <= AVOID) THEN RETURN
2440  IF THETA >= 0 AND THETA < 5 THEN PFD = PFDL: GOTO 2500
2450  IF THETA >= 5 AND THETA < 25 THEN
      PFD = (10 ^ (PFL * .1 + PF * (THETA - 5))): GOTO 2500
2460  IF THETA >= 25 THEN PFD = PFDH
2500  IF GAMMAW >= 0 AND GAMMAW <= PHYM THEN GTHETAW
      = 10 ^ (.1 * (GMAX - .0025 * (DLAMBDA * GAMMAW) ^ 2)):
      GOTO 2540
2510  IF GAMMAW >= PHYM AND GAMMAW < (100 / DLAMBDA) THEN
      GTHETAW = 10 ^ (.1 * G1): GOTO 2540
2520  IF GAMMAW >= (100 / DLAMBDA) AND GAMMAW < 48 THEN
      GTHETAW = 10 ^ (.1 * (52 - 10 * (LOG(DLAMBDA)) / LOG(10) -
      25 * (LOG(GAMMAW)) / LOG(10))): GOTO 2540
2530  IF GAMMAW >= 48 AND GAMMAW ≤ 180 THEN
      GTHETAW = 10 ^ (1 - (LOG(DLAMBDA)) / LOG(10))
2540  SINTW = MU * PFD * GTHETAW:
      IF N > 0 THEN A(M, N) = A(M, N) + SINTW
'
      SINTW = BROUILLAGE CAUSE AUX RECEPTEURS POINTES VERS L'OUEST
2550  IF GAMMAE >= 0 AND GAMMAE <= PHYM THEN GTHETAE
      = 10 ^ (.1 * (GMAX - .0025 * (DLAMBDA * GAMMAE) ^ 2)):
      GOTO 2590
2560  IF GAMMAE >= PHYM AND GAMMAE < (100 / DLAMBDA) THEN
      GTHETAE = 10 ^ (.1 * G1): GOTO 2590
2570  IF GAMMAE >= (100 / DLAMBDA) AND GAMMAE < 48 THEN
      GTHETAE = 10 ^ (.1 * (52 - 10 * (LOG(DLAMBDA)) / LOG(10) -
      25 * (LOG(GAMMAE)) / LOG(10))): GOTO 2590
2580  IF GAMMAE >= 48 AND GAMMAE ≤ 180 THEN
      GTHETAE = 10 ^ (1 - (LOG(DLAMBDA)) / LOG(10))
2590  SINTE = MU * PFD * GTHETAE: IF N < 50 THEN
      C(M, N) = C(M, N) + SINTE
'
      SINTE = BROUILLAGE CAUSE AUX RECEPTEURS POINTES VERS L'EST
2600  RETURN
'Sous-programme - PERMET D'ENTRER LES TRAJETS EN FAISCEAU HERTZIEN
3000  LOCATE 12, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 13, 1:
      PRINT STRING$(20, 0)
3010  LOCATE 12, 1:
      PRINT "5) ENTER NUMBER OF RADIO-RELAY ROUTES <300 MAX>"
3020  INLEN% = 3: GOSUB 14000
3030  RTS = VAL(BUFF$)
3033  IF RTS > 300 OR RTS < 1 THEN LOCATE 22, 1:
      PRINT "Out of Range, RE-ENTER": FOR C = 1 TO 100000: NEXT:
      LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(40, 0): GOTO 3000

```

3035 IF RTS <= 300 THEN RTS = RTS - 1: RETURN

'Sous-programme pour spécifier l'évitement d'orbite

4000 LOCATE 14, 1: PRINT STRING\$(78, 0): LOCATE 15, 1:
PRINT STRING\$(20, 0)

4040 LOCATE 14, 1:
PRINT "6) ENTER ORBIT AVOIDANCE ANGLE, DEG. <ENTER>"

4050 INLEN% = 4: GOSUB 14000

4060 AVOID = VAL(BUFF\$)

4070 IF AVOID < 0 THEN LOCATE 22, 1:
PRINT "Out of Range, RE-ENTER": FOR C = 1 TO 100000: NEXT:
LOCATE 22, 1: PRINT STRING\$(40, 0): GOTO 4000

4080 RETURN

'Sous-programme pour déterminer l'espacement des satellites sur l'orbite

5000 LOCATE 16, 1: PRINT STRING\$(78, 0): LOCATE 17, 1:
PRINT STRING\$(20, 0)

5010 LOCATE 16, 1:
PRINT "7) ENTER SATELLITE ORBIT SEPARATION (2 MIN), DEG.
<ENTER>"

5060 INLEN% = 5: GOSUB 14000

5070 SEP = VAL(BUFF\$)

5080 IF SEP < 2 THEN LOCATE 22, 1: PRINT "Out of Range, RE-ENTER":
FOR C = 1 TO 100000: NEXT: LOCATE 22, 1: PRINT STRING\$(40, 0):
GOTO 5000

5090 RETURN

'Sous-programme pour entrer la valeur de la puissance surfacique pour des petits/grands angles d'incidence

6000 LOCATE 18, 1: PRINT STRING\$(78, 0): LOCATE 19, 1:
PRINT STRING\$(20, 0): LOCATE 20, 1: PRINT STRING\$(78, 0):
LOCATE 21, 1: PRINT STRING\$(20, 0)

6010 LOCATE 18, 1:
PRINT "8A) ENTER MAXIMUM LOW ANGLE (0 <= THETA < 5°) PFD
LEVEL"

6020 INLEN% = 5: GOSUB 14000

6030 PFL = VAL(BUFF\$)

6040 IF PFL > 0 THEN LOCATE 22, 1:
PRINT "OUT OF RANGE, ENTER NEGATIVE VALUE":
FOR C = 1 TO 100000: NEXT: LOCATE 22, 1: PRINT STRING\$(50, 0):
GOTO 6000

' - Entrer la valeur de la puissance surfacique pour de grands angles d'incidence

6500 LOCATE 20, 1: PRINT STRING\$(78, 0): LOCATE 21, 1:
PRINT STRING\$(20, 0)

```

6510  LOCATE 20, 1:
      PRINT "8B) ENTER MAXIMUM HIGH ANGLE ( THETA >= 25°)
      PFD LEVEL"

6520  INLEN% = 5: GOSUB 14000

6530  PFH = VAL(BUFF$)

6540  IF PFH > 0 THEN LOCATE 22, 1:
      PRINT "OUT OF RANGE, ENTER NEGATIVE VALUE":
      FOR C = 1 TO 100000: NEXT: LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(50, 0):
      GOTO 6500

6545  PF = .005 * (PFH - PFL): PFDL = 10 ^ (.1 * PFL):
      PFDH = 10 ^ (.1 * PFH)

6550  RETURN

7000  LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 23, 1:
      PRINT STRING$(20, 0)

7010  LOCATE 22, 1:
      PRINT "REVISIONS? ENTER '1 - 8' OR '0' IF NONE "

7020  A$ = INKEY$: IF A$ = "" THEN 7020

7030  IF A$ = "0" OR A$ = CHR$(13) THEN RETURN

7040  IF A$ = "1" THEN GOSUB 1650: GOTO 7000

7050  IF A$ = "2" THEN GOSUB 1700: GOTO 7000

7060  IF A$ = "3" THEN GOSUB 1750: GOTO 7000

7070  IF A$ = "4" THEN GOSUB 1800: GOTO 7000

7080  IF A$ = "5" THEN GOSUB 3000: GOTO 7000

7090  IF A$ = "6" THEN GOSUB 4000: GOTO 7000

7100  IF A$ = "7" THEN GOSUB 5000: GOTO 7000

7110  IF A$ = "8" THEN GOSUB 6000: GOTO 7000

7200  GOTO 7000

```

'Sous-programme pour entrer les données numériques

```

14000  TRUE = -1: FALSE = 0'Formatted numeric input subroutine

14005  POINT. = FALSE: DEC.CNT = 0: BUFF$ = " ":
      ERA$ = CHR$(29) + CHR$(95) + CHR$(29):
      PRINT STRING$(INLEN%, CHR$(95)); STRING$(INLEN%, CHR$(29));

14010  W$ = INPUT$(1): IF W$ >= "0" AND W$ <= "9" THEN 14100

14020  IF W$ <> CHR$(8) THEN 14040

14030  IF BUFF$ = "" THEN 14010 ELSE W$ = RIGHT$(BUFF$, 1):
      BUFF$ = LEFT$(BUFF$, LEN(BUFF$) - 1): PRINT ERA$; :
      IF W$ = "." THEN POINT. = FALSE: DEC.CNT = 0

14035  IF POINT. THEN DEC.CNT = DEC.CNT - 1: GOTO 14010 ELSE 14010

14040  IF W$ = CHR$(13) THEN RETURN

```

```

14070 IF W$ = "." THEN IF POINT. THEN 14010 ELSE IF
      LEN(BUFF$) = INLEN% THEN 14010 ELSE POINT. = TRUE: GOTO 14100
14080 IF W$ = "-" OR W$ = "+" THEN IF BUFF$ > " " THEN
      14010 ELSE 14100
14090 GOTO 14010
14100 IF LEN(BUFF$) = INLEN% OR DEC.CNT = 3 THEN
      14010 ELSE PRINT W$; : BUFF$ = BUFF$ + W$:
      IF POINT. THEN DEC.CNT = DEC.CNT + 1: GOTO 14010 ELSE 14010
'Sous-programme - entrer les données alphanumériques (non utilisées)
14300 BKSPC$ = CHR$(8): CR.RET$ = CHR$(13):
      ERA$ = CHR$(29) + " " + CHR$(29) 'String input routine
14305 BUFF$ = " "
14310 W$ = INPUT$(1): IF W$ >= "a" AND W$ <= "z" THEN
      W$ = CHR$(ASC(W$) - 32): GOTO 14350
14315 IF W$ >= " " AND W$ <= CHR$(127) THEN 14350
14320 IF W$ = BKSPC$ THEN IF BUFF$ = " " THEN 14310 ELSE
      BUFF$ = LEFT$(BUFF$, LEN(BUFF$) - 1): PRINT ERA$; :
      GOTO 14310
14340 IF W$ = CR.RET$ THEN RETURN ELSE 14310
14350 IF LEN(BUFF$) = INLEN% THEN 14310 ELSE PRINT W$; :
      BUFF$ = BUFF$ + W$: GOTO 14310

```

ANNEXE 2

Information permettant d'évaluer le brouillage causé aux systèmes numériques du service fixe par les émissions des stations spatiales en orbite géostationnaire

1 Introduction

L'Annexe 1 de la présente Recommandation décrit une méthode de définition de critères visant à protéger essentiellement les systèmes analogiques à grande distance du service fixe. Or, la plupart des systèmes du service fixe emploient actuellement la modulation numérique. Nombre des indications de base exposées à l'Annexe 1 sont toutefois applicables à la définition de critères de protection des systèmes numériques du service fixe; la présente Annexe fournit les indications complémentaires indispensables afin d'évaluer le brouillage subi par ce type de système du service fixe.

La méthode consiste à établir des statistiques concernant aussi bien les valeurs du rapport brouillage/bruit (I/N) de chaque station que les valeurs de la dégradation relative de la qualité de fonctionnement (FDP) des trajets. La méthode indiquée au § 3 pour déterminer la valeur FDP du trajet s'applique uniquement lorsque le rapport I/N d'une station réceptrice de ce trajet est suffisamment faible pour ne pas entraîner le récepteur dans un domaine de fonctionnement non linéaire. L'utilisateur est donc invité à établir les statistiques I/N par récepteur, tel qu'indiqué au § 2 avant de calculer les statistiques FDP de propagation par trajets multiples, tel qu'indiqué au § 3.

La présente Annexe s'applique aux systèmes numériques du service fixe dans lesquels le phénomène d'affaiblissement par trajets multiples est généralement prédominant et par contre ne s'applique pas aux systèmes caractérisés habituellement par la prépondérance de l'affaiblissement dû aux précipitations.

2 Analyse station par station

Dans le cas des systèmes analogiques du service fixe, le brouillage dû aux satellites géostationnaires est évalué en termes de bruit de brouillage de canal (pW) (voir l'Appendice 1 à l'Annexe 1). Toutefois dans le cas des systèmes numériques point à point et point à multipoint P-MP du service fixe, il convient d'évaluer le brouillage en termes de FDP selon la définition du brouillage évoluant avec le temps produit par les satellites non géostationnaires, tel qu'indiqué à l'Annexe 3 de la Recommandation UIT-R F.1108. De manière analogue, lorsqu'il y a une seule station du service fixe, on peut définir une valeur FDP_{bond} correspondant aux brouillages en provenance des satellites géostationnaires à l'entrée d'un récepteur, en procédant comme suit et en considérant que le brouillage est pratiquement constant dans le temps:

$$FDP_{bond} = \frac{I}{N_T} \quad (14)$$

avec

I : brouillage global (W/MHz) causé au récepteur du service fixe par les satellites visibles,

N_T : bruit thermique du récepteur (W/MHz).

Une méthodologie proposée à l'Appendice 2 à la présente Annexe permet d'établir les statistiques de I/N .

Lorsqu'il faut déterminer les effets du brouillage sur les récepteurs numériques du service fixe fonctionnant en mode diversité, une formule différente est parfois plus adaptée à l'évaluation du rapport FDP_{bond} , tel qu'indiqué à l'Annexe 4 de la Recommandation UIT-R F.1108.

3 Systèmes point à point à bonds multiples du service fixe

Pour les systèmes numériques du service fixe à n bonds, fonctionnant à des fréquences auxquelles l'affaiblissement dû à la propagation par trajets multiples est généralement prédominant, et vu que les objectifs de qualité de fonctionnement relatifs aux systèmes point à point à bonds multiples du service fixe sont normalement spécifiés trajet par trajet, deux méthodes d'évaluation probabilistes sont applicables. La première est décrite au § 2 et l'autre consiste à évaluer la FDP comme étant égale au rapport de la puissance de brouillage totale à la puissance de bruit totale dans une direction d'un trajet, selon la formule suivante:

$$FDP_{trajet} = \frac{\sum_{k=1}^n (I_k)}{n \times N_T} \quad (15)$$

avec I_k le brouillage total causé au récepteur k par les satellites visibles.

Il convient de signaler que l'équation (15) repose sur les hypothèses suivantes:

- le signal numérique est régénéré au niveau de chaque répéteur;
- l'évanouissement suit la loi de Rayleigh.

Notons en outre qu'il convient, si l'on veut évaluer la dégradation relative FDP_{trajet} concernant des systèmes numériques du service fixe qui fonctionnent en mode diversité, d'utiliser une formule appropriée différente. Cette question doit faire l'objet d'un complément d'étude.

Bien qu'il existe différents types de phénomènes d'évanouissement, l'évanouissement de Rayleigh est considéré comme le plus préjudiciable dans le cas des trajets en visibilité directe, et constitue un élément déterminant pour l'évaluation de la qualité de fonctionnement d'un système du service fixe. Selon la répartition de Rayleigh, la probabilité d'un affaiblissement supérieur à 10 dB par exemple est réduite dans une proportion de 1/10. Par conséquent, lorsqu'un bond est exposé à un brouillage constant dans le temps, d'une puissance identique à celle du bruit thermique (rapport $I/N = 0$ dB), la probabilité de secondes gravement erronées (ou la probabilité d'intervalles de temps non disponibles) sera deux fois plus importante qu'en l'absence de brouillage.

Le concept de FDP comporte certaines limites, la principale hypothèse étant que le récepteur du service fixe continue à fonctionner dans un domaine de réponse linéaire. Avec un brouillage exceptionnellement intense, en sorte que le récepteur du service fixe fonctionne dans un domaine de réponse non linéaire, le concept de FDP ne s'appliquera pas ou sous-estimera les effets du brouillage (voir le paragraphe figurant à la suite de l'équation (16) à l'Annexe 3 de la Recommandation UIT-R F.1108). Toutefois, dans la mesure où le fonctionnement du récepteur du service fixe est maintenu dans un domaine de réponse linéaire, l'équation (15) demeure applicable aux systèmes numériques à bonds multiples du service fixe.

La section précédente n'aboutit pas à la conclusion selon laquelle seule la valeur de la FDP doit être évaluée trajet par trajet. En effet, l'évaluation de la FDP propre à chaque station contribuera également à la connaissance des effets du brouillage.

L'Appendice 1 à l'Annexe 1 suppose généralement une distance de bond de 50 km pour les systèmes à longue distance, alors que le choix d'un bond plus court est vraisemblablement plus indiqué pour les systèmes à courte distance, et ce en fonction de différents facteurs, notamment la fréquence de fonctionnement et les effets de propagation. Par exemple, avec une fréquence de fonctionnement comprise dans la gamme 1-3 GHz, il peut s'avérer indiqué de choisir des distances types, par une procédure de sélection aléatoire à l'intérieur de limites spécifiées (par exemple bonds compris entre 10 et 30 km).

Les trajets du service fixe pris en considération doivent être choisis par une méthode de simulation de Monte Carlo, tel qu'indiqué à l'Appendice 1 à l'Annexe 1 de la présente Recommandation, avec un point de départ du trajet choisi de façon aléatoire à l'intérieur d'un intervalle d'essai spécifié par l'utilisateur, défini par des limites de latitude et de longitude.

L'analyse des trajets dans le cas des systèmes numériques qui subissent un évanouissement dû à la propagation par trajets multiples, n'exige par nécessairement la conformité de chaque bond individuel au critère I/N . La qualité de fonctionnement sur la totalité du trajet doit cependant être conforme au critère de FDP. Cette exigence est précisée ci-dessous.

Lorsque la propagation par trajets multiples constitue le principal mécanisme d'évanouissement, la Recommandation UIT-R P.530 définit la probabilité d'interruption sur un bond P (interruption sur bond) en fonction de la marge de protection contre les évanouissements dus au bruit thermique de la liaison:

$$P(\text{interruption sur un bond}) = K \cdot d^{3,6} \cdot f^{0,89} \cdot (1 + |h_r - h_e|/d)^{-1,4} \cdot 10^{-TFM/10}$$

avec:

- K : facteur géoclimatique
- d : longueur de la liaison (km)
- f : fréquence (GHz)

h_r et h_e : hauteurs respectives des antennes d'émission et de réception (mètres au-dessus du niveau de la mer ou autre référence courante)

TFM : marge de protection contre les évanouissements dus au bruit thermique sur un bond (dB)

$$TFM = 10 \log \left(\frac{C}{N_T} \right) - CNC$$

où:

$10 \log \left(\frac{C}{N_T} \right)$: valeur du rapport porteuse/bruit (C/N) sans évanouissement (dB)

CNC : valeur du rapport porteuse bruit, C/N pour lequel le critère de qualité de fonctionnement est juste satisfait (dB).

Si l'on pose $K \cdot d^{3,6} \cdot f^{0,89} \cdot (1 + |h_r - h_e|/d)^{-1,4} \cdot 10^{-CNC/10} = \gamma$

alors:

$$P(\text{interruption sur un bond}) = \gamma \cdot N_T / C$$

d'où:

$$P(\text{interruption sur un bond avant brouillage dû au satellite}) = \gamma \cdot N_T / C$$

$$P(\text{interruption sur un bond après brouillage global du au satellite}) = \gamma \cdot (N_T + I) / C$$

avec C , N_T et I exprimés en unités de puissance cohérentes.

Si l'on suppose que:

- chaque bond est défini de façon à comporter la même probabilité nominale d'interruption avant brouillage dû au satellite; et
- les évanouissements sur chaque bond sont indépendants et suffisamment rares pour permettre d'additionner les probabilités d'interruption,

alors la probabilité nominale nette d'interruption sur le trajet est donnée par la relation suivante:

$$P(\text{interruption sur un trajet donné}) = \Sigma (P(\text{interruption sur un bond donné}))_{\text{nombre de bonds du trajet}}$$

Par conséquent, l'augmentation relative de la probabilité d'interruption sur un trajet due à l'altération de la marge de protection contre les évanouissements sur chaque bond à l'intérieur d'un trajet donné est obtenue par la relation simple:

$FDP(\text{interruption sur un trajet})$

$$\begin{aligned} &= \frac{P(\text{interruption sur le trajet avec brouillage}) - P(\text{interruption sur le trajet sans brouillage})}{P(\text{interruption sur le trajet sans brouillage})} \\ &= \frac{\Sigma (\gamma \cdot (N_T + I) / C) - \Sigma (\gamma \cdot N_T / C)}{\Sigma (\gamma \cdot N_T / C)} \\ &= \frac{\Sigma I}{\Sigma N_T} \end{aligned}$$

c'est-à-dire, FDP sur le trajet est égale à la puissance totale de brouillage sur le trajet divisée par la puissance de bruit totale sur le même trajet:

$$= \frac{\Sigma I}{n \cdot N_T} \quad \text{qui représente le rapport des puissances}$$

$$= 100 \frac{\sum I}{n \cdot N_T} \quad \%$$

La méthode FDP d'évaluation des effets du brouillage sur un trajet du service fixe et l'utilisation de pourcentages (et non d'une valeur exprimée en dB) sont par conséquent appropriés.

Dans le cas des systèmes P-MP, la plupart des liaisons étant des liaisons à bond unique, l'équation (14) devrait s'appliquer. En ce qui concerne les systèmes point à point, l'utilisation de trajets à bonds multiples est courante, et justifiera par conséquent l'utilisation de l'équation (15).

4 Systèmes P-MP du service fixe

Le brouillage des stations centrales des systèmes P-MP doit être évalué en fonction des indications du § 2 en cas de modulation numérique, mais il y a lieu de signaler que ces stations utilisent des antennes omnidirectionnelles ou sectorielles. Les diagrammes de rayonnement dans le plan vertical des antennes de ce type sont présentés dans la Recommandation UIT-R F.1336. S'il y a lieu, l'incidence de l'orientation vers le bas du faisceau des antennes peut être établie dans le cadre de l'évaluation du brouillage.

Le brouillage du poste d'abonné des systèmes P-MP du service fixe doit également être déterminé en fonction des indications du § 2 en cas de modulation numérique. En l'occurrence, on suppose d'ordinaire une répartition uniforme de 0° à 360° des directions azimutales des antennes de postes d'abonnés, en tenant compte du fait que, généralement, les systèmes de ce type n'autorisent pas l'évitement d'orbite.

5 Zone d'essai

Un grand nombre de trajets et de postes du service fixe sont répartis de façon aléatoire en latitude, en longitude et en azimut (pour garantir la stabilité et la convergence des valeurs nominales) à l'intérieur d'une zone d'essai définie par l'utilisateur. Pour assurer l'uniformité d'exposition à tous les angles d'incidence, la longitude de la zone d'essai doit être un multiple entier de l'espacement angulaire des satellites dans le cas de satellites régulièrement espacés et la latitude de la zone d'essai doit être suffisamment grande. Sinon, la zone d'essai peut être définie de façon à couvrir le territoire d'une administration, en sorte que les paramètres propres aux systèmes de cette administration puissent être évalués. Dans ce cas, il est possible de spécifier les emplacements des satellites.

6 Constellation de satellites

Lors de l'étude d'un nouveau service par satellite on suppose normalement la mise en place d'une orbite pleine de satellites régulièrement espacés. Sinon, il y a lieu de prévoir des emplacements de satellites définis par l'utilisateur. Une autre option consisterait à permettre des emplacements aléatoires sur un arc orbital déterminé.

Le modèle utilisé doit également intégrer la technique d'évitement d'orbite lorsque celle-ci offre un intérêt pour le service fixe. Toutefois les systèmes du service fixe dont la couverture est généralisée ne peuvent mettre à profit cette technique.

7 Gabarit de puissance surfacique

Tous les satellites sont censés émettre la puissance maximale autorisée par le gabarit de puissance surfacique considéré. Il s'agit d'une hypothèse prudente en ce qui concerne le niveau de brouillage

potentiel. Le gabarit en question est constitué de segments linéaires exprimant la puissance surfacique en fonction de l'angle d'incidence (de 0° à 90°). Le modèle doit prévoir la possibilité de spécifier plusieurs segments.

Il est également possible de définir des gabarits statistiques de puissance surfacique permettant de rendre compte de l'étendue des zones desservies par chaque satellite. Cette question doit faire l'objet d'un complément d'étude.

8 Paramètres du service fixe

Les valeurs prises en compte dans la simulation sur ordinateur du niveau de bruit (ou de la valeur plancher du bruit thermique) et de la perte de la ligne d'alimentation commune à toutes les stations du service fixe, doivent être spécifiées, ainsi que le gain et le diagramme de rayonnement d'antenne communs. Les caractéristiques par défaut suivantes pourraient figurer dans un fichier d'antenne laissé au choix de l'utilisateur, par exemple:

- le *recommande* 2 de la Recommandation de l'UIT-R F.1245 pour les systèmes point à point copolaires avec les sources brouilleuses;
- la Note 7 de la Recommandation UIT-R F.1245 pour les systèmes point à point à discrimination linéaire/circulaire dans des conditions de couplage faisceau principal à faisceau principal;
- l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R F.1245 pour les systèmes point à point dont les lobes secondaires ont une enveloppe en sinus carré;
- la Recommandation UIT-R F.699 pour les systèmes point à point copolaires avec les sources brouilleuses;
- la Recommandation UIT-R F.1336 pour les antennes de stations centrales de systèmes P-MP;
- la Recommandation UIT-R F.1336 pour les antennes de postes d'utilisateur de systèmes P-MP.

De plus, l'algorithme devrait accepter des caractéristiques définies par l'utilisateur qui pourraient consister par exemple en un lobe principal défini par l'ouverture de faisceaux à 3 dB, avec une discrimination variable selon le carré de l'angle hors axe et par une zone transition vers une région du lobe latéral linéaire par morceaux (sur une échelle logarithmique de l'angle hors axe). Ces caractéristiques définies par l'utilisateur pourraient être introduites dans une bibliothèque de fichiers de diagrammes d'antenne en vue d'applications futures.

9 Autres considérations

9.1 Critères de brouillage

Dans les bandes de fréquences exposées à des évanouissements dus à la propagation par trajets multiples, le niveau de brouillage par rapport au bruit thermique du récepteur doit théoriquement, selon la Recommandation UIT-R F.758, demeurer inférieur à -10 dB (ou -6 dB). Dans le cas de systèmes numériques du service fixe, ces valeurs correspondent à une dégradation relative FDP_{bond} de 10% (ou 25%) respectivement. Il est conseillé d'adopter si possible la valeur de -10 dB. Toutefois, dans certaines situations délicates de partage, il a été très difficile d'observer le niveau de -10 dB tout en facilitant le partage des fréquences. Ainsi, les Recommandations UIT-R M.1141 et UIT-R M.1142 traitant du partage des fréquences entre systèmes du service fixe et stations spatiales (géostationnaires ou non géostationnaires) du SMS considèrent le critère de -6 dB.

Dans une évaluation statistique du brouillage, il faut établir un certain pourcentage admissible de postes ou de trajets pour lesquels le brouillage global peut dépasser le critère retenu. Il est préférable que ce pourcentage soit aussi petit que possible, mais dans certaines situations difficiles de partage, il a été extrêmement difficile d'adopter une très faible valeur admissible de ce pourcentage. Par exemple, en pareille circonstance, 10% des récepteurs du service fixe pris en considération sont en mesure de supporter un brouillage supérieur au critère adopté. De manière analogue, on peut définir un certain pourcentage admissible des trajets pour lesquels la dégradation relative de qualité de fonctionnement est susceptible de dépasser le critère FDP.

Deux couples de critères de qualité de fonctionnement sont donc spécifiés:

Objectif rapport I/N du récepteur	Pourcentage des stations réceptrices autorisées à dépasser l'objectif défini pour les récepteurs
Objectif de dégradation FDP sur un trajet	Pourcentage des trajets sur lesquels l'objectif défini pour les trajets peut être dépassé

Dans une situation donnée quelconque ces critères de qualité de fonctionnement peuvent être retenus isolément ou conjointement.

9.2 Affaiblissement dû aux conditions de propagation

Les Recommandations UIT-R SF.1395 et UIT-R F.1404 indiquent les valeurs minimum de l'affaiblissement de propagation dû aux gaz atmosphériques, à utiliser dans les études de partage des fréquences entre systèmes du service fixe et satellites de différents services spatiaux.

9.3 Orbites légèrement inclinées

Les services par satellite reçus par des antennes quasi équidirectives permettent aux opérateurs de mettre à profit les économies de carburant réalisées en limitant les corrections de poste dans la direction nord-sud et en laissant les satellites sur des orbites légèrement inclinées. Dans ces conditions l'angle d'incidence des brouillages affectant les réseaux terrestres varie à une échelle quotidienne, ce qui a pour effet de prolonger l'arc orbital au-dessous de l'horizon radioélectrique statique, pendant une partie du temps et d'augmenter l'angle d'incidence (et donc la puissance surfacique) du brouillage des satellites au-dessus de l'horizon pendant le reste du temps. Une méthode simple d'évaluation de ce phénomène consiste à modifier, pour les besoins de calcul, la latitude de la station du service fixe: il est alors possible de calculer la latitude nominale du poste, la latitude nominale du poste augmentée de l'inclinaison maximale de l'orbite et la latitude nominale du poste réduite de l'inclinaison maximale de l'orbite (voir également les indications de la Recommandation UIT-R SF.1008 sur ce point).

10 Résultats

Les distributions probabilistes du rapport I/N global ou de la FDP concernant chacune des stations du service fixe, FDP_{bond} et des FDP concernant les trajets, FDP_{trajet} constituent les résultats à obtenir. On peut également y ajouter les distributions du rapport I/N en fonction de l'azimut et du rapport I/N en fonction de l'angle d'incidence à présenter sous forme de deux diagrammes de dispersion. Ce dernier résultat peut servir à la définition d'un gabarit de puissance surfacique. L'obtention de ces résultats facultatifs n'exige aucun traitement supplémentaire, puisque les paramètres utilisés sont d'ores et déjà calculés.

APPENDICE 1

À L'ANNEXE 2

Logiciel type d'évaluation probabiliste du brouillage sur un système point à point à propagation par bonds multiples**1 Introduction**

Dans les bandes de fréquences où l'on prévoit d'appliquer la méthode d'évaluation probabiliste du brouillage, le service fixe constitue le service exploité, tandis que le service par satellite correspond au système entrant inconnu. Il est donc logique lors du choix des paramètres du logiciel, de fixer le plus grand nombre possible de paramètres du système fixe, et de considérer comme variables les paramètres du service par satellite.

Ce logiciel type repose conjointement sur une approche axée sur l'étendue de la zone desservie et sur des analyses statistiques du brouillage concernant un ensemble de stations et de trajets. Les satellites du réseau mis en oeuvre sont régulièrement espacés et dotés de gabarits uniformes de puissance surfacique. Cette disposition peut être retenue à des fins de simplicité sans toutefois perdre de vue qu'il s'agit d'une hypothèse prudente. La prise en compte d'emplacements définis par l'utilisateur ou celle d'emplacements aléatoires pourraient constituer d'autres options. On suppose par ailleurs une propagation simple en visibilité directe et une terre sphérique régulière.

2 Paramètres d'entrée du modèle**2.1 Paramètres des satellites**

- Gabarit de puissance surfacique (points anguleux de l'angle d'incidence/niveaux de puissance surfacique); hypothèse des segments linéaires, nombre de points anguleux définis par l'utilisateur, communs à tous les satellites.
- Espacement angulaire régulier sur l'orbite géostationnaire (doit être un diviseur entier de 360°), orbite entièrement occupée; (à titre facultatif, des emplacements orbitaux définis peuvent figurer parmi les données d'entrée ou ces emplacements peuvent être situés de façon aléatoire sur un arc orbital spécifié).
- Inclinaison orbitale (par exemple 0° ou 5°): s'applique à tous les satellites.

2.2 Critères de qualité de fonctionnement du service fixe

- Niveau de protection requis (par exemple $FDP_{trajet} = 10\%$ ou 25% , rapport I/N de la station = -10 dB ou -6 dB).

2.3 Paramètres de la zone d'essai du service fixe

- Limites de longitude et de latitude.
- Modèles d'affaiblissement atmosphérique (menu permettant de choisir l'affaiblissement atmosphérique à appliquer à la puissance brouilleuse en fonction de l'angle d'incidence et de la zone géoclimatique, zéro si aucune indication).
- Modèle de réfraction (menu permettant de choisir la valeur maximale des angles de réfraction selon la latitude et la zone géoclimatique, zéro si aucune indication).

- Modèle d'évanouissement dû à la pluie, s'il y a lieu, autrement dit si l'évanouissement dû à la pluie doit être appliqué à la puissance brouilleuse (menu permettant de choisir les niveaux d'affaiblissement dus à la pluie à appliquer, selon l'angle d'incidence, l'inclinaison par rapport à l'axe principal et la zone géoclimatique, zéro si aucune indication).

(Un complément d'étude est nécessaire afin de mettre au point des menus adaptés à la modélisation ci-dessus des phénomènes de brouillage sous faible angle d'incidence, d'après les Recommandations UIT-R, compte tenu du fait que, normalement ces phénomènes affectent uniquement de manière notable les expositions aux brouillages les plus défavorables et que l'approche probabiliste permet d'en réduire l'importance relative.)

2.4 Paramètres des stations du service fixe

- Angle d'évitement d'orbite (zéro si aucune indication).
- Nombre de trajets dans la zone exposée au brouillage:
 - nombres minimum et maximum de bonds par trajet: le nombre total résultant de stations ($\Sigma_{\text{tous les trajets}}$ (nombre de stations par trajet)); aussi important que le permettent la capacité de mémoire et la vitesse de l'ordinateur;
 - longueurs minimum et maximum des bonds (l'analyse du brouillage d'une station isolée n'exige pas cette donnée);
 - variation maximum de l'azimut autour de la droite équivalente (l'analyse du brouillage d'une station isolée n'exige pas cette donnée).
- Paramètres des stations: les stations de types différents doivent faire l'objet de passages distincts. Dans le cadre d'un passage donné, les paramètres suivants sont communs à l'ensemble des stations:
 - gain et diagramme de rayonnement d'antenne (d'après une liste de valeurs intégrée au logiciel (notamment options telles que discrimination linéaire/circulaire et enveloppe du lobe latéral), prévoir la possibilité d'intégrer à la liste les caractéristiques d'autres antennes);
 - perte de la ligne d'alimentation;
 - données de bruit;
 - fonction quantifiée de distribution de l'angle d'élévation (e_{i-1} à e_i , probabilité). Prévoir un nombre maximum de 100 couples de valeurs d'intervalle d'angle d'élévation et de probabilité d'occurrence, pour chaque distribution ($i = 1$ à $I_{\text{elev_max}}$), en tenant compte du fait que les différents types de station comporteront vraisemblablement des statistiques différentes d'angles d'élévation (on utilise généralement des antennes de grande dimension lorsque la compensation des pertes élevées dues aux trajets longs exige un gain important, les trajets longs impliquant de petits angles d'élévation). La distribution de l'angle d'élévation doit être symétrique par rapport à l'élévation zéro.

3 Processus de sélection des paramètres

Etablir une liste pondérée de cent entrées (correspondant aux valeurs en pourcentage) pour la distribution de l'angle d'élévation. L'angle d'élévation de chaque station est choisi au moyen d'un pointeur aléatoire à répartition uniforme.

(Le symbole « $\Rightarrow < \mathbf{1} \gg$ » indique le début de la boucle 1; « $RANDx$ »= nombre aléatoire à répartition uniforme compris entre 0 et 1.)

⇒ **< 1 >** Choix des points de départ du trajet et des droites équivalentes (mise sous forme aléatoire des paramètres):

- $latitude = latitude(min) + RAND1 * (latitude(max) - latitude(min));$
- $longitude = longitude(min) + RAND2 * (longitude(max) - longitude(min));$
- azimut de droite équivalente: $trend_line_azimut = RAND3 * 360$, en cas d'exposition d'une seule direction d'émission = $90 + RAND3 * 180$ en cas d'exposition de deux directions d'émission au brouillage du même service par satellite; le trajet d'émission «aller» (azimut de droite équivalente 90° , de 180° à 270°) est inversé pour l'émission dans la direction «retour» (azimut 270° , de 0° à 90°) et la plus forte des deux dégradations détermine la qualité de fonctionnement du trajet;
- $nombre\ de\ bonds = bond(min) + RAND4 * (bond(max) - bond(min)).$

(Pour l'analyse du brouillage d'une station unique (c'est-à-dire nombre minimum de bonds = nombre maximum de bonds = 1), l'azimut de la droite équivalente correspond à l'azimut de la station et celle-ci est constituée normalement d'un récepteur.)

Choix de l'emplacement des stations:

- l'emplacement de la première station est celui du point de départ du trajet; la première station est censée être une station émettrice dans le contexte considéré sauf si le trajet comporte une seule station.

⇒ **< 2 >** pour la deuxième station et les stations suivantes du trajet:

- $azimuth = trend_line_azimuth + (2 * RAND5 - 1) * max\ hop_azimuth_variation;$
- $angle\ d'\acute{e}levation = \text{centre de l'intervalle désigné par «Nearest_integer}\{100 * RAND6\}$ »
Vérifier s'il y a évitement d'orbite (en tenant compte du fait que les stations dont les angles d'élévation sont supérieurs à zéro peuvent intercepter des orbites au-dessus de l'horizon). En cas d'évitement d'orbite et si la direction du faisceau principal de la station est comprise dans l'angle d'évitement, examiner la station suivante en passant au point **< 2 >**;
- $longueur\ de\ bond = longueur\ de\ bond(min) + RAND7 * (longueur\ de\ bond(max) - longueur\ de\ bond(min));$
- déterminer la latitude et la longitude de la station.

Si la station est en dehors de la zone d'essai, ne pas considérer l'emplacement de la station. Passer à **< 2 >**.

Répéter les mêmes opérations pour tous les bonds du trajet. Passer à **< 2 >**.

Répéter la procédure pour tous les trajets de la zone spécifiée. Passer à **< 1 >**; noter que, si l'évaluation du brouillage doit porter sur les deux directions d'émission, la direction «retour» du trajet comprend la liste inversée des emplacements de la station, des azimuts complémentaires et des angles d'élévation complémentaires par rapport aux paramètres du trajet dans la direction «aller».

Enregistrer l'ensemble de paramètres de la station du service fixe $\{\{SF\}\} = \{\{type\ (gain\ et\ diagramme\ d'antenne,\ donnée\ de\ bruit,\ perte\ de\ ligne\ d'alimentation),\ numéro\ de\ trajet,\ emplacement\ de\ station\ (latitude,\ longitude),\ azimut,\ angle\ d'\acute{e}levation\}\}$.

Dans le cas de satellites régulièrement espacés, la longitude de référence de la constellation est exprimée par rapport à la longitude moyenne de la zone d'essai « $long_{mid}$ ». Calculer les emplacements de satellite.

- $longitude\ de\ satellite\ long_m = long_{mid} + m * (360 / number_of_satellites),$
 $m = 0 \text{ à } (number_of_satellites - 1)$

Dans le cas de satellites dont l'emplacement est aléatoire:

- $longitude\ de\ satellite\ long_m = longitude\ min\ de\ l'arc + RAND8 * (longitude\ max\ de\ l'arc - longitude\ min\ de\ l'arc)$
- ⇒ <3> Pour chaque trajet
- ⇒ <4> Pour chaque station du trajet
- ⇒ <5> Pour chaque satellite de la constellation.
- calculer l'angle d'incidence nominal par rapport au satellite, calculer l'angle d'incidence aux points d'excursion maximum et minimum de l'inclinaison orbitale compte tenu de la réfraction;
- si la valeur absolue de l'un de ces angles d'incidence négatifs est supérieure à l'angle de réfraction, lui associer un pointeur «omettre» pour les calculs ultérieurs. Si la valeur absolue de tous les angles d'incidence négatifs est supérieure à l'angle de réfraction, passer à <5> pour procéder au choix du satellite suivant, sinon
- calculer les angles hors axe, les gains d'antenne, calculer la valeur maximum des trois rapports $I/N_{single\ entry}$ {rapports de puissance} en tenant compte de l'affaiblissement dû à la propagation atmosphérique (fonction de l'angle d'incidence) et de l'affaiblissement dû à la pluie (fonction de l'angle hors axe et de l'angle d'incidence) le cas échéant.

Passer <5>, satellite suivant

- calculer $I/N_{global} = \sum_{tous\ les\ satellites} (I/N_{source\ unique}), I/N_{station} = 10 \log(I/N_{global})$ (dB)

NOTE 1 – L'Appendice 2 à cette Annexe présente le calcul du rapport I/N_{global} de façon plus détaillée.

Passer à <4>, station suivante du trajet

- calculer la dégradation relative concernant la $FDP_{trajet} = \sum_{tous\ les\ satellites} (I/N_{global})/n \dots \dots$ sommation sur toutes les stations n du trajet.

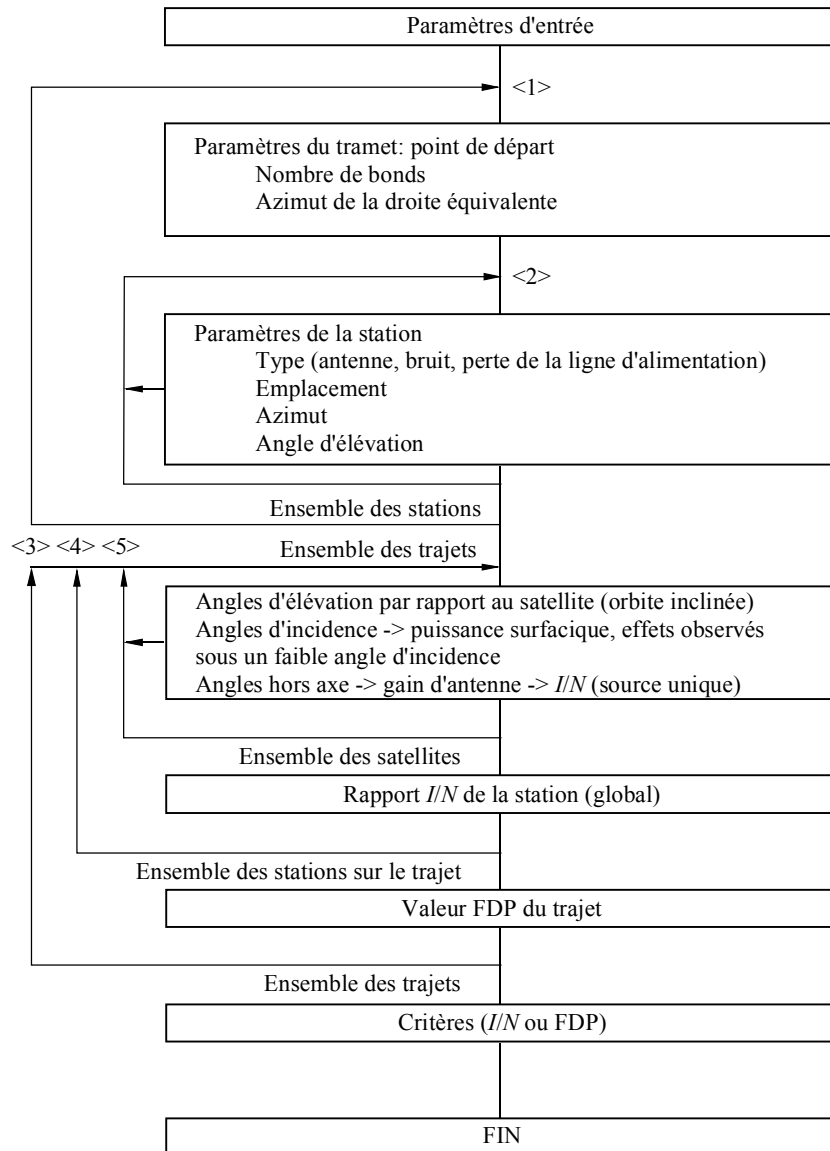
Aller à <3>, trajet suivant

- calculer la fonction de distribution des probabilités correspondant aux valeurs I/N_{global} de la station en établissant une liste ordonnée de valeurs décroissantes, formée en numérotant les éléments de la liste des valeurs, c'est-à-dire $(j, I/N_j: j = 1 \text{ à } J)$, tandis que $\{100*j/J\}$ est le centile correspondant à I/N_j de telle sorte que toutes les stations suivantes présentent une qualité de fonctionnement supérieure (inférieure) à I/N_j . Calculer de manière analogue la fonction de distribution des probabilités de la dégradation relative FDP pour le trajet;
- déterminer à partir des fonctions de distribution des probabilités,
 - le pourcentage des stations ou des trajets correspondant aux critères de qualité de fonctionnement ($\%stations_at_I/N_{criterion}$ et $\%routes_at_FDP_{criterion}$); et
 - la valeur du rapport I/N ou de la FDP s'il y a lieu, correspondant respectivement au pourcentage défini de stations ou de trajets ($I/N_at_P_{station}$ et $FDP_at_P_{route}$);
- calculer les fonctions de distribution des probabilités des rapports I/N de station et des valeurs FDP de trajet: {valeur I/N , probabilité de dépassement du rapport I/N }: {valeur FDP, probabilité de dépassement de la valeur FDP} à présenter sous forme de graphique. Le résultat des calculs ci-dessus: $\%stations_at_I/N_{criterion}$, $\%routes_at_FDP_{criterion}$, $I/N_at_P_{station}$ et $FDP_at_P_{route}$.

4 Observations

La Fig. 8 présente un organigramme du processus décrit ci-dessus.

FIGURE 8
Organigramme simplifié de l'algorithme



1107-08

Le critère d'essai, $I/N_{at_P_{station}}$ indique dans quelle proportion le gabarit de puissance surfacique peut devoir être réduit. Par exemple, en supposant la nécessité de maintenir la transition initiale entre un niveau de puissance surfacique pour un petit angle d'incidence et un niveau de puissance surfacique pour un grand angle d'incidence, et par ailleurs si 90% des stations doivent avoir un rapport I/N inférieur ou égal à -10 dB pour obtenir une qualité de fonctionnement acceptable et si le critère d'essai, $I/N_{at_P_{station}}$ (dB) dépasse cette valeur, alors il convient de réduire le gabarit de puissance surfacique de la différence $\{I/N_{at_P_{station}} - (-10)\}$ pour vérifier le critère. De manière analogue, si une qualité de fonctionnement acceptable exige que 90% des trajets présentent une valeur ou un pourcentage FDP inférieur ou égal à 25% et si le critère d'essai $FDP_{at_P_{route}}$ (%) dépasse cette valeur, le gabarit de puissance surfacique doit être réduit de la différence $\{10\log((FDP)_{at_P_{route}}/100) - 10\log(0,25)\}$ pour vérifier le critère.

L'établissement d'un diagramme de dispersion des valeurs I/N calculées en fonction de l'angle d'incidence permettrait de définir le cas échéant une transition différente.

Il serait relativement simple d'introduire une base de données réelles concernant les stations réceptrices du service fixe et/ou une constellation connue de satellite, au lieu de l'ensemble aléatoire de stations et de la constellation uniformément répartie, de façon à obtenir si nécessaire une représentation réaliste. Ces options devraient évidemment figurer au niveau des sous-programmes d'introduction de données.

APPENDICE 2

À L'ANNEXE 2

Calcul du rapport I/N_{global} pour les différents récepteurs ou pour chaque récepteur du service fixe

La méthodologie repose sur l'utilisation de l'algorithme suivant:

- soit un espacement donné entre des satellites géostationnaires, $Long_{ref} = 360/nb_sat$;
- soit un gabarit de puissance surfacique donné applicable à chaque satellite géostationnaire;
- soit une latitude et une longitude données du système du service fixe:
 - pour chaque azimut de pointage du service fixe (de 0° à 360°);
 - pour chaque valeur de la longitude relative de la constellation de satellite ($\Delta long$ variant de 0° à $Long_{ref}$);
- calcul du brouillage global au niveau de l'entrée du récepteur du service fixe en provenance de tous les satellites géostationnaires visibles;
- calcul du rapport I/N résultant au niveau du récepteur du service fixe

$$\frac{I}{N}(azimuth, \Delta long) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{vis} \left(pfd_i(\Delta long) + G(\theta_i(azimuth, \Delta long)) + 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - FL \right)$$

avec:

$\frac{I}{N}(azimuth, \Delta long)$: rapport I/N global résultant dû au brouillage de tous les satellites géostationnaires visibles du récepteur du service fixe, $\Delta long$ désignant la longitude relative de la constellation de satellites et $azimuth$ désignant l'azimut de pointage de l'antenne de la station du service fixe

$pfd_i(\Delta long)$: puissance surfacique au niveau de la station du service fixe reçue du satellite géostationnaire visible i

$\theta_i(azimuth, \Delta long)$: angle hors axe entre la direction de pointage de l'antenne du service fixe et la direction d'observation du $i^{\text{ème}}$ satellite depuis la station du service fixe (dans le cas des stations centrales des systèmes P-MP il convient de remplacer $\theta_i(azimuth, \Delta long)$ par $elev_i(\Delta long)$ qui est la différence d'angle d'élévation entre la direction de pointage de l'antenne du service fixe et la direction d'observation du $i^{\text{ème}}$ satellite. Lorsque les stations directionnelles du service fixe ont des angles d'élévation différents de zéro, l'angle hors axe doit être modifié en conséquence

- $G(\theta)$: gain de l'antenne du service fixe pour l'angle hors axe θ
- λ : longueur d'onde
- FL : perte de ligne d'alimentation du service fixe
- vis : nombre de satellites visibles depuis la station du service fixe
- N : bruit thermique du récepteur du service fixe.

La relation ci-dessus permet d'établir une table de valeurs de I/N (ou du pourcentage FDP) au niveau d'une station réceptrice du service fixe, en fonction de l'azimut de pointage de la station du service fixe et de la longitude relative de la constellation de satellite et, par conséquent, une fonction de densité de probabilité de I/N ou de FDP_{trajet} de la station du service fixe ou de la valeur FDP_{trajet} (ensemble des trajets situés dans une zone d'essai de donnée) pour un gabarit particulier de puissance surfacique et pour un certain espacement des satellites géostationnaires.
