|  |
| --- |
| **Recommandation UIT-R F.1107-2**  **(05/2011)** |
| **Méthodes probabilistes permettant d'évaluer les brouillages causés au service fixe par des satellites utilisant l'orbite géostationnaire** |
| **Série F**  **Service fixe** |

Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d’assurer l’utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d’études.

# Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT‑R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT‑T, l'UIT‑R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en œuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT‑T, l'UIT‑R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

|  |  |
| --- | --- |
| Séries des Recommandations UIT-R  (Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>) | |
| **Séries** | Titre |
| **BO** | Diffusion par satellite |
| **BR** | Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision |
| **BS** | Service de radiodiffusion sonore |
| **BT** | Service de radiodiffusion télévisuelle |
| **F** | **Service fixe** |
| **M** | Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés |
| **P** | Propagation des ondes radioélectriques |
| **RA** | Radio astronomie |
| **RS** | Systèmes de télédétection |
| **S** | Service fixe par satellite |
| **SA** | Applications spatiales et météorologie |
| **SF** | Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe |
| **SM** | Gestion du spectre |
| **SNG** | Reportage d'actualités par satellite |
| **TF** | Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires |
| **V** | Vocabulaire et sujets associés |

|  |
| --- |
| ***Note****: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la  Résolution UIT-R 1.* |

*Publication électronique*

Genève, 2011

© UIT 2011

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l’accord écrit préalable de l’UIT.

RECOMMANDATION UIT-R F.1107-2[[1]](#footnote-1)

Méthodes probabilistes permettant d'évaluer les brouillages causés   
au service fixe par des satellites utilisant l'orbite géostationnaire

(1994-2002-2011)

Champ d'application

La présente Recommandation décrit des méthodes d'évaluation des critères de partage en cas de brouillages causés aux systèmes hertziens fixes numériques par des satellites utilisant l'orbite géostationnaire. On trouvera à l'Annexe 1 la marche à suivre pour évaluer les brouillages causés aux systèmes numériques, les grandes lignes d'une méthode de calcul, des exemples et un logiciel type pour appliquer cette méthode de calcul.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

a) 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 (SF);

b) 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;

c) 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;

d) 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;

e) 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;

f) 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 et ayant trait à l'évaluation des brouillages causés par le SF aux systèmes numériques du service fixe pour définir les critères de partage concernant les systèmes numériques du service fixe.

Annexe 1  
  
Informations permettant d'évaluer le brouillage causé aux systèmes   
numériques du service fixe par les émissions des stations   
spatiales en orbite géostationnaire

# 1 Introduction

La présente Annexe fournit les indications complémentaires indispensables afin d'évaluer le brouillage subi par ce type de systèmes du service fixe utilisant la modulation numérique.

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 numériques point à point (P-P) 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 *FDPbond* 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:

 (1)

avec

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

*NT* : 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 *FDPbond*, 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:

 (2)

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

Il convient de signaler que l'équation (2) 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 *FDPtrajet* concernant des systèmes numériques du service fixe qui fonctionnent en mode diversité, d'utiliser une formule appropriée différente de l'équation (2). 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 (2) 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.

On suppose généralement que la longueur de bond est 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, 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 pas 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*(*interruption sur un bond*) = *K* · *d*3,6 · *f*0,89 · (1 + | *hr* – *he* |/*d*)–1,4 · 10–*TFM*/10

avec:

*K* : facteur géoclimatique

*d* : longueur de la liaison (km)

*f* : fréquence (GHz)

*hr* et *he* : 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).



où:

 : 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* · *d* 3,6 · *f*0,89 · (1 + | *hr* – *he* |/*d*)–1,4 · 10–*CNC*/10= γ

alors:

*P*(*interruption sur un bond*) = γ · *NT* /*C*

d'où:

*P*(*interruption sur un bond avant brouillage dû au satellite*) = γ · *NT* /*C*

*P*(*interruption sur un bond après brouillage global dû au satellite*) = γ · (*NT* + *I* )/*C*

avec *C*, *NT* 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;

– 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(*interruption sur un trajet donné*) = Σ (P(*interruption sur un bond donné*))*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*(*interruption sur un trajet*)







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:





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 (1) 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 (2).

# 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'usager. 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'usager. 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 de la zone desservie 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'usager, par exemple:

− le *recommande* 2 de la Recommandation 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'usager de systèmes P-MP.

De plus, l'algorithme devrait accepter des caractéristiques définies par l'usager 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'usager 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 *FDPbond*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.

# 10 Résultats

Les distributions probabilistes du rapport *I*/*N* global ou de la FDP concernant chacune des stations du service fixe, *FDPbond* et des FDP concernant les trajets, *FDPtrajet* 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 1  
  
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 œuvre 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'usager 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'usager, 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 *FDPtrajet* = 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 (Σ*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 (*ei*–1 à *ei*, 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 *Ielev\_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 «⇒< **1** >» 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*) + *RAND*1 \* (*latitude*(*max*) − *latitude*(*min*));

– *longitude* = *longitude*(*min*) + *RAND*2 \* (*longitude*(*max*) − *longitude*(*min*));

– azimut de droite équivalente: trend\_line\_azimut = *RAND*3 \* 360, en cas d'exposition d'une seule direction d'émission = 90 + *RAND*3 \* 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*) + *RAND*4 \* (*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 \* *RAND*5-1) \* max hop\_azimuth\_variation;

– *angle d'élévation* = 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*) + *RAND*7 \* (*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'élévation}}.

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 «*longmid*». Calculer les emplacements de satellite.

– *longitude de satellite longm* = *longmid* + *m*\*(360/number\_of\_satellites),

*m* = 0 à (number\_of\_satellites – 1)

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

– *longitude de satellite longm* = *longitude min de l'arc* + *RAND*8\*(*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* = Σ*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/Nglobal de façon plus détaillée.

Passer à <**4**>, station suivante du trajet

– calculer la dégradation relative concernant la *FDPtrajet* = Σ*tous les satellites* (*I*/*N*|*global*)/*n*...… 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 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/Ncriterion et %routes\_at\_FDPcriterion); 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\_Pstation et FDP\_at\_Proute);

– 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/Ncriterion, %routes\_at\_FDPcriterion, I/N\_at\_Pstation et FDP\_at\_Proute.

# 4 Observations

La Fig. 1 présente un organigramme du processus décrit ci‑dessus.

figure 1

Organigramme simplifié de l'algorithme



Le critère d'essai, I/N\_at\_Pstation 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\_Pstation (dB) dépasse cette valeur, alors il convient de réduire le gabarit de puissance surfacique de la différence {I/N\_at\_Pstation – (−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\_Proute (%) dépasse cette valeur, le gabarit de puissance surfacique doit être réduit de la différence {10log((FDP)\_at\_Proute/100) − 10log(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 1  
  
Calcul du rapport *I*/*Nglobal* 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, *Longref* = 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 (Δ*long* variant de 0° à *Longref*);

− 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:



avec:

|  |  |
| --- | --- |
|  | rapport *I*/*N* global résultant dû au brouillage de tous les satellites géostationnaires visibles du récepteur du service fixe, Δ*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 |

*pfdi*(Δ*long*) : puissance surfacique au niveau de la station du service fixe reçue du satellite géostationnaire visible *i*

θ*i*(*azimuth*, Δ*long*) : angle hors axe entre la direction de pointage de l'antenne du service fixe et la direction d'observation du *i*ème satellite depuis la station du service fixe (dans le cas des stations centrales des systèmes P-MP il convient de remplacer θ*i*(*azimuth,* Δ*long*) par *elevi*(Δ*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*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*(θ) : 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 *FDPbond* de la station du service fixe ou de la valeur *FDPtrajet* (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.

1. Cette Recommandation doit être portée à l'attention des Commissions d'études 4, 6 et 7 des radiocommunications. [↑](#footnote-ref-1)