

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R SF.1572

(05/2002)

**Méthode permettant d'évaluer l'incidence
des brouillages espace vers Terre causés par
des systèmes du service fixe par satellite à
des systèmes du service fixe dans des
bandes de fréquences où les précipitations
sont la principale cause des
évanouissements**

Série SF

**Partage des fréquences et coordination entre
les systèmes du service fixe par satellite
et du 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 oeuvre 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 SF.1572* **

Méthode permettant d'évaluer l'incidence des brouillages espace vers Terre causés par des systèmes du service fixe par satellite à des systèmes du service fixe dans des bandes de fréquences où les précipitations sont la principale cause des évanouissements

(Questions UIT-R 250/4 et UIT-R 217/9)

(2002)

Domaine d'application

La présente Recommandation donne une méthode permettant d'évaluer l'incidence des brouillages causés par des satellites OSG du service fixe par satellite sur la disponibilité des systèmes du service fixe qui, dans certaines bandes de fréquences, est limitée par les évanouissements dus aux précipitations. Cette méthode, basée sur le rapport porteuse/bruit + brouillage, s'applique à la disponibilité des systèmes point à point ou point multipoint du service fixe et les paramètres sont spécifiés sur une base statistique. La souplesse dans la spécification de paramètres d'entrée constants et/ou statistiquement variables permet d'examiner de nombreux exemples différents de systèmes du service fixe.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les émissions des stations spatiales du service fixe par satellite (SFS) fonctionnant sur l'orbite géostationnaire (OSG) et partageant les mêmes fréquences que les systèmes du service fixe peuvent brouiller les stations de réception du service fixe;
- b) que, par rapport à une analyse du cas le plus défavorable, les résultats obtenus avec une méthode statistique peuvent conduire à une utilisation plus efficace du spectre;
- c) que les méthodes de partage devraient tenir compte des exigences de qualité de fonctionnement et des configurations de systèmes du service fixe utilisées ou qu'il est prévu d'utiliser dans ces bandes de fréquences;
- d) que, dans les bandes de fréquences où les précipitations sont la principale cause des évanouissements, il est souhaitable d'avoir un outil d'évaluation des brouillages utilisant les statistiques relatives aux rapports porteuse/bruit (C/N), porteuse/brouillage (C/I) et porteuse/bruit plus brouillage ($C/(N+I)$) pour déterminer l'incidence sur la disponibilité;
- e) qu'un outil d'évaluation des brouillages de ce type peut avoir des applications dans les bandes au-dessus de 17 GHz environ et aider les administrations à effectuer leurs études de partage,

* La méthode présentée dans l'Annexe 1 est axée sur les brouillages causés par les systèmes OSG du SFS. Il faut procéder à de nouvelles études pour s'assurer que cette méthode s'applique aux brouillages causés par les systèmes non OSG du SFS.

** La Commission d'études 5 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en décembre 2009 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 1.

recommande

1 d'utiliser la méthode décrite dans l'Annexe 1 pour mettre au point des outils informatiques de simulation permettant d'évaluer l'incidence des brouillages causés par des systèmes du service fixe à des systèmes numériques du service fixe exploités dans les bandes de fréquences au-dessus de 17 GHz.

Annexe 1

1 Introduction

La méthode décrite dans la présente Annexe constitue un modèle d'analyse de l'ensemble des paramètres des systèmes du service fixe et des paramètres géoclimatiques locaux des systèmes point à point (P-P) et des systèmes point multipoint (P-MP) qui peuvent contribuer à la vulnérabilité des récepteurs du service fixe aux brouillages causés par les liaisons descendantes du SFS.

1.1 Définitions

Dans les bandes de fréquences où les précipitations sont la principale cause des évanouissements, on définit les objectifs nominaux de qualité de fonctionnement des systèmes du service fixe en termes de disponibilité et non en termes de taux d'erreur. Aux fins de la présente Recommandation, on considère que l'expression «disponibilité nominale» est basée sur le seuil de secondes gravement erronées (SES, *severely errored second*), compte tenu du fait que, dans ces bandes de fréquences, le pourcentage d'événements de moins de 10 s SES consécutives est négligeable. Par conséquent, pour estimer la disponibilité nominale d'une liaison du service fixe on prend le pourcentage de temps, dans une année moyenne, pendant lequel le niveau du signal du récepteur, C/N , tombe en dessous de la valeur seuil, C/N_{th} , ce qui correspond à des événements SES. Dans la présente Annexe l'indisponibilité (100% – disponibilité) est désignée par le symbole p_D (%).

Disponibilité nominale d'un système P-MP – La disponibilité nominale est le pourcentage de temps, dans une année moyenne, pendant lequel le rapport porteuse/bruit total plus brouillage $C/(N + I)$ relevé au niveau d'un récepteur de référence situé à la périphérie d'une cellule P-MP sera égal ou supérieur à la valeur seuil C/N_{th} .

Disponibilité nominale d'un système P-P – La disponibilité nominale est le pourcentage de temps, dans une année moyenne, pendant lequel le rapport porteuse/bruit total plus brouillage $C/(N + I)$ relevé au niveau du récepteur sera égal ou supérieur à la valeur seuil C/N_{th} .

Récepteur de référence pour un système P-MP – Le récepteur situé le plus loin possible de l'antenne de la station centrale d'émission qui sert à calculer la puissance d'émission nécessaire pour obtenir la disponibilité nominale. Dans les systèmes P-MP qui sont modélisés avec des antennes d'abonné dont la hauteur suit une distribution statistique, la hauteur du récepteur de référence est la hauteur la plus probable. Dans un modèle de système P-MP de ce type, une antenne d'émission de station centrale qui a tout juste assez de puissance pour que la disponibilité nominale soit réalisée sur la liaison jusqu'au récepteur de référence n'aura pas suffisamment de puissance pour assurer la disponibilité nominale de 100% de tous les abonnés possibles. Ceci est dû à la conjugaison de deux facteurs à savoir le gain moins élevé de l'antenne de la station centrale et l'affaiblissement en espace libre plus important en direction des récepteurs les plus éloignés de l'antenne de la station centrale ou à proximité de ce point. Il faudrait fournir une puissance supplémentaire à l'antenne de la station centrale pour pouvoir obtenir la disponibilité nominale de tous les récepteurs possibles d'un système P-MP caractérisé par des antennes dont la hauteur suit une distribution statistique.

Quatre types de modulation utilisés par les systèmes du service fixe sont cités dans la présente Annexe: la modulation par déplacement de phase quadrivalente MDP-4 et trois types différents de modulation d'amplitude en quadrature (MAQ-16, MAQ-64 et MAQ-256).

2 Types de systèmes du SFS analysés pour leur vulnérabilité aux brouillages causés par les systèmes OSG du service fixe

Sur la base des systèmes décrits dans la Recommandation UIT-R F.758, il y a deux configurations de systèmes du service fixe fondamentalement différentes.

2.1 Les systèmes P-MP

Dans ce type de systèmes l'antenne d'émission de la station centrale (ou station «pivot») est équidirective dans le plan horizontal (azimut) et directive dans le plan vertical (élévation). Le diagramme de rayonnement de l'antenne de la station centrale est une combinaison d'un certain nombre d'antennes sectorielles et l'on pourra introduire un biais négatif en angle d'élévation pour maximiser la zone de couverture depuis un point élevé au sommet d'un gratte-ciel ou d'une tour. Les antennes d'utilisateur ou «d'abonné» sont quant à elles directives et pour les besoins des calculs on supposera qu'elles présentent une symétrie axiale. La distribution des abonnés dans une gamme spécifiée de valeurs possibles de la longueur des bonds peut être modélisée statistiquement ou définie par l'utilisateur. Certains des systèmes P-MP modernes de la troisième génération utilisent simultanément jusqu'à trois modulations: MDP-4, MAQ-16, MAQ-64 et MAQ-256. Une telle configuration permet d'avoir une capacité de trafic plus élevée par secteur, ce qui est essentiel pour rendre les réseaux plus économiques. Le résultat est que dans chaque cellule il peut y avoir jusqu'à trois anneaux concentriques où l'on observe le même objectif de disponibilité minimale. En d'autres termes, le nombre de récepteurs ayant une plus grosse capacité et des angles d'élévation moyens plus élevés que dans des cellules P-MP est beaucoup plus important et pour les modéliser on utilise un seul et même schéma de modulation dans toute la cellule. Les récepteurs situés sur les anneaux intérieurs et fonctionnant à des niveaux de modulation élevés sont par nature soumis à des niveaux plus élevés de puissance surfacique rayonnée par des satellites fonctionnant sur l'OSG étant donné qu'ils ont des angles d'élévation plus élevés que les récepteurs situés sur les anneaux extérieurs. Il est possible de modéliser statistiquement l'incidence globale des brouillages causés par les systèmes du service fixe sur la disponibilité d'un système P-MP en pondérant le nombre de récepteurs (indépendamment de la capacité) sur chacun des anneaux ou bien le nombre de récepteurs de capacité équivalente par poste traitant les données relatives à la disponibilité obtenues après analyse individuelle de chacun des anneaux.

En appliquant cette méthode à une vaste gamme de configurations possibles, on peut évaluer paramétriquement la sensibilité des systèmes P-MP à diverses caractéristiques des systèmes du service fixe, notamment le diamètre de l'antenne du récepteur, le facteur de bruit du récepteur, les caractéristiques de la cellule P-MP et les facteurs géoclimatiques.

2.2 Les systèmes P-P

Dans ce type de système les liaisons hertziennes sont orientées de façon aléatoire et présentent des longueurs de bonds et des angles d'élévation très divers. Lorsque l'on examine l'incidence des brouillages causés par les systèmes du SFS sur un réseau P-P du service fixe on prend en considération les deux extrémités de la liaison du service fixe.

On peut définir un système P-MP ou «en étoile» de type P-P dans lequel le trafic peut être ou non asymétrique (capacité plus élevée depuis l'émetteur central jusqu'à l'abonné). Dans ce cas, une proportion plus élevée de récepteurs P-P auront des angles d'élévation élevés, très proches de ceux des récepteurs de réseaux P-MP et seront donc plus vulnérables aux brouillages causés par les liaisons espace vers Terre. Dans un réseau P-P en «étoile» la distribution des abonnés dans une gamme spécifiée de valeurs possibles de la longueur des bonds peut être spécifiée de la même façon que pour un réseau P-MP.

Il peut y avoir des configurations hybrides, comprenant des systèmes P-P (configuration aléatoire et configuration en étoile) et des systèmes P-MP qui sont optimisées sur la base de considérations touchant à l'efficacité du réseau. Dans tous ces cas, le scénario de brouillage dominant est celui du brouillage causé par les systèmes du service fixe aux récepteurs d'abonné du service fixe.

3 Considérations générales

3.1 Systèmes P-MP

La géométrie des cellules P-MP et les diagrammes d'antenne de la station d'abonné et de la station centrale ont une incidence sur la distribution statistique des niveaux de brouillage dans l'ensemble des récepteurs possibles ainsi que sur leur vulnérabilité aux brouillages. Par ailleurs, dans les bandes de fréquences au-dessus de 17 GHz, l'affaiblissement à long terme par les gaz atmosphériques, les effets de la scintillation et l'affaiblissement à court terme dû à la pluie – lesquels sont à leur tour influencés par des facteurs géoclimatiques liés à la latitude – sont importants pour déterminer la vulnérabilité des stations d'abonné aux brouillages sur les liaisons espace vers Terre causés par les satellites du service fixe. Il est possible de définir paramétriquement les effets de chacun de ces facteurs sur la vulnérabilité des stations d'abonné aux brouillages causés par des satellites OSG du service fixe.

3.2 Systèmes fixes P-P (y compris les configurations en étoile)

Pour les systèmes P-P, dans les bandes de fréquences au-dessus de 17 GHz, un certain nombre de facteurs, notamment le diamètre de l'antenne de la station de réception, l'angle d'élévation, les marges de protection contre les évanouissements, ont une influence sur la vulnérabilité des stations de réception au brouillage extérieur. La marge de protection contre les évanouissements d'un système P-P dépend de la longueur des bonds et des mêmes facteurs géoclimatiques que les systèmes P-MP.

4 Hypothèses

La méthode décrite dans la présente Annexe repose sur un certain nombre d'hypothèses.

4.1 Hypothèses de base

Les hypothèses de base suivantes, résumées ci-après, valent aussi bien pour les systèmes P-MP que pour les systèmes P-P du service fixe et sont des considérations importantes dans la mise en œuvre de la méthode:

- a) La conception du trajet tient compte des objectifs de qualité de fonctionnement et de la marge de protection contre les évanouissements nécessaire pour respecter les objectifs de qualité de fonctionnement à court terme applicables, recommandés ou souhaités.

- b) Il est possible d'évaluer l'incidence des brouillages subis par un réseau du service fixe, par exemple sous forme du pourcentage du nombre total de récepteurs possibles du service fixe qui réalisent une disponibilité égale ou supérieure à un niveau donné de disponibilité dégradée.
- c) La portion de l'arc OSG au-dessus du plan horizontal est visible pour toutes les stations de réception du service fixe et aucune partie de l'arc, dans quelque direction que ce soit, n'est occultée pour l'une quelconque des antennes de réception du service fixe.
- d) On suppose que l'altitude par rapport au niveau moyen de la mer est la même sur l'ensemble du trajet du signal utile pour calculer l'affaiblissement dû aux gaz atmosphériques (mise en œuvre de la Recommandation UIT-R P.676) et l'affaiblissement à long terme dû à la pluie (Recommandation UIT-R P.530). La hauteur utilisée est la moyenne des hauteurs de l'antenne de la station de réception et de l'antenne de la station d'émission pour un système P-P et la hauteur d'antenne minimale de la station d'abonné pour un système P-MP.
- e) La valeur de puissance isotrope rayonnée équivalente (p.i.r.e.) maximale de 55 dBW est respectée. La largeur de bande de canal pour le système du service fixe considéré ainsi que la valeur de p.i.r.e. de 55 dBW permettront de fixer la limite de la densité de puissance maximale à l'émission pour ce système.
- f) Les caractéristiques des systèmes du service fixe utilisées pour modéliser une liaison P-P ou P-MP devraient être représentatives des configurations types.
- g) La disponibilité des systèmes du service fixe est toujours définie sur la base d'une moyenne annuelle.

4.2 Hypothèses pour les systèmes P-MP

4.2.1 Brouillage intraservice (intrasystème)

Dans le modèle le plus élémentaire, on pourrait supposer qu'on a attribué au système du service fixe un niveau de brouillage intraservice pour une station d'abonné de référence située en limite de la cellule P-MP, à une hauteur spécifiée par rapport au sol. Il résulte de cette hypothèse que le niveau de bruit total, c'est-à-dire bruit thermique + brouillage intraservice, est un niveau spécifié supérieur au niveau du seul bruit thermique. Les niveaux effectifs de brouillage intraservice peuvent être pris en compte, par exemple, si l'on veut évaluer l'évolution de l'incidence du brouillage espace vers Terre (par exemple, si tous les systèmes dans une région donnée devaient passer à une modulation d'ordre supérieur pour accroître leur capacité). Par ailleurs, avec cette méthode il est possible de calculer les niveaux de brouillage intraservice pour un modèle particulier de configuration de systèmes.

4.2.2 Antenne équidirective de la station centrale

Dans la plupart des cas, l'enveloppe du diagramme de gain d'antenne de la station centrale présente une symétrie circulaire dans le plan horizontal et le gain de l'antenne est indépendant de l'azimut pour un angle donné dans le plan vertical (angle de déclinaison). Cette hypothèse s'applique, que l'antenne de la station centrale soit une antenne unique équidirective ou qu'elle soit composée de plusieurs antennes sectorielles. Dans le cas où l'on utilise une seule antenne sectorielle on aura besoin du diagramme hors axe dans le plan horizontal et dans le plan vertical comme donnée d'entrée pour pouvoir calculer le gain en un point donné.

4.2.3 Distribution des récepteurs

Il y a de nombreuses façons possibles de modéliser la distribution des récepteurs dans une cellule P-MP, notamment les distributions statistiques comme les distributions uniformes ou les distributions de Rayleigh ou bien encore d'autres distributions définies par les utilisateurs. Chaque

fois que cela est possible, le choix du modèle peut se faire par validation sur la base des données statistiques relatives aux emplacements réels des récepteurs. On peut utiliser les données réelles indiquant la position relative d'un récepteur dans une cellule P-MP lorsqu'on examine des liaisons réelles. On peut aussi utiliser conjointement une distribution statistique et des données réelles.

4.2.4 Altitude

On peut considérer que l'altitude par rapport au niveau moyen de la mer, dans toute la cellule, est la même que celle de la station centrale. Il est également possible d'utiliser les données réelles indiquant l'altitude de l'emplacement pour chaque récepteur situé dans une cellule P-MP lorsqu'on examine les liaisons cas par cas.

4.2.5 Hauteur d'antenne de stations d'abonné

Il est possible de modéliser statistiquement les hauteurs d'antenne de station d'abonné (Recommandation UIT-R P.1410) si l'on connaît la hauteur, σ , de Rayleigh pour la ville modélisée. Dans le cas d'un modèle de hauteur d'antenne de Rayleigh, pour des considérations pratiques, on définira une hauteur minimale et une hauteur maximale. On peut utiliser les données réelles indiquant la hauteur d'antenne de chaque station d'abonné pour examiner des liaisons au cas par cas. On peut aussi utiliser conjointement une distribution statistique et des données réelles.

4.2.6 Occultation 0%

On suppose que l'antenne de la station centrale est visible pour chaque antenne de station d'abonné dans une cellule P-MP et qu'elle n'est pas occultée par un bâtiment sur lequel pourraient se trouver d'autres antennes de station d'abonné même si, du fait de la randomisation utilisée dans un modèle de hauteur d'antenne donné, un bâtiment plus proche occulterait une antenne de station d'abonné plus éloignée.

4.2.7 Pas de diversité

On suppose que toutes les antennes de stations d'abonné distantes pointent vers le même point et on ne tient donc pas compte du cas où la station d'abonné se trouve dans la plus mauvaise configuration en azimut. C'est ainsi seulement qu'on peut établir de façon sérieuse l'incidence de l'intersection entre l'orbite OSG et l'axe de visée de l'antenne de la station de réception du service fixe sur la qualité de fonctionnement du système du service fixe.

4.2.8 Hauteur de l'antenne de la station centrale, rayon de la cellule et biais de l'angle d'élévation de l'antenne de la station centrale dans des systèmes P-MP

Il est possible d'optimiser le biais angulaire de l'antenne de la station centrale de façon que le gain maximal de l'antenne de cette station s'accorde avec la hauteur la plus probable de l'antenne de la station la plus éloignée du centre de la cellule. Le biais de l'angle d'élévation de l'antenne de la station centrale peut aussi être spécifié par l'utilisateur. Etant donné que la hauteur de l'antenne d'une station de réception située en limite d'une cellule P-MP peut varier dans des proportions très importantes, le gain de l'antenne de la station centrale ne sera maximal qu'en direction d'une seule antenne de station d'abonné, la plus éloignée du centre de la cellule. Lorsqu'on utilise un modèle statistique de hauteur d'antenne, il se peut que les marges de certains récepteurs situés en limite de cellule soient insuffisantes par ciel clair et en l'absence de brouillage espace vers Terre. Si le pointage de l'antenne de la station centrale est biaisé de façon à être accordé avec la hauteur la plus probable de l'antenne d'une station d'abonné, il est possible de minimiser le pourcentage de récepteurs pour lesquels la marge est insuffisante par ciel clair. On calcule la hauteur la plus probable d'une station d'abonné selon la distribution de probabilité de hauteurs d'antenne pour chaque modèle de hauteur d'antenne. Le biais angulaire de l'antenne de la station centrale, pour un gain d'antenne optimal, en limite de cellule est donné par l'expression suivante:

$$\varphi_{Hub} = \text{tg}^{-1}((h_{Hub} - h_{sub})/R_{max})$$

où:

h_{Hub} : hauteur de l'antenne de la station centrale par rapport au sol (m)

h_{sub} : hauteur la plus probable de l'antenne de la station d'abonné située à une distance R_{max} de la station centrale (m)

R_{max} : distance maximale d'une station d'abonné dans une cellule P-MP (m).

La configuration la plus simple de ce modèle correspond au cas où l'antenne de la station centrale présente une symétrie de 360°. Pour des cellules P-MP comportant plusieurs secteurs pour lesquels il faut avoir un biais de pointage différent pour mieux desservir les différents abonnés, on peut appliquer la méthode individuellement à chaque secteur et il est possible de calculer les statistiques pour l'ensemble de la cellule en pondérant les résultats en fonction du nombre d'abonnés dans chaque secteur.

4.3 Hypothèses pour les systèmes P-P du service fixe

4.3.1 Emplacement du récepteur service fixe

Dans la mise en œuvre la plus simple de la méthode, on part de l'hypothèse qu'il y a une équiprobabilité d'emplacement en azimut pour l'antenne d'un système du service fixe, pour une longueur des bonds et un angle d'élévation donnés. Quand on dispose de données réelles, on peut aussi utiliser l'angle d'azimut et l'angle d'élévation d'un trajet du service fixe lorsqu'on examine les liaisons cas par cas.

4.3.2 Longueur maximale des bonds

La longueur maximale possible des bonds dépend de facteurs géoclimatiques ainsi que de paramètres nominaux des systèmes du service fixe, par exemple la disponibilité nominale, la valeur seuil du rapport C/N pour un niveau de qualité en termes de taux d'erreur binaire (TEB) donné et le type de modulation utilisée. Les dimensions de l'antenne d'émission, la disponibilité nominale, le type de modulation, le facteur de bruit du récepteur et la largeur de bande de canal auxquels s'ajoute la limite maximale de puissance indiquée au § 4.1 e) auront pour effet de limiter la longueur maximale des bonds.

4.3.3 Diamètre d'antenne minimal/maximal

La méthode est applicable aux antennes, quelles que soient leurs dimensions, couramment utilisées dans les bandes utilisées en partage au-dessus de 17 GHz.

4.3.4 Modèles de hauteur d'antenne

On peut utiliser pour modéliser les hauteurs d'antenne de récepteurs P-P du service fixe les modèles dont on se sert pour modéliser les hauteurs d'antenne de récepteurs de systèmes P-MP. Toutefois, étant donné que l'on a tendance à choisir de préférence des bâtiments élevés pour placer les antennes de réseaux point à point, on peut utiliser, lorsqu'elles sont disponibles, les données statistiques relatives aux hauteurs d'antenne, obtenues à partir des bases de données de fréquences nationales.

Dans le cas d'une mise en œuvre P-P d'un système P-MP ou d'un réseau en étoile ou d'un réseau P-P symétrique, on peut utiliser pour modéliser les hauteurs d'antenne des récepteurs du service fixe de type P-P en étoile les modèles qu'on utilise pour modéliser les hauteurs d'antenne de récepteurs de systèmes P-MP.

On notera que la différence observée dans les valeurs seuil associées à la qualité de fonctionnement à long terme ou à court terme varie en fonction du type de modulation utilisée. Les liaisons utilisant des niveaux de modulation élevés avec des valeurs seuil élevées pour le rapport C/N auront besoin d'une puissance à l'émission plus élevée pour une longueur et une largeur de bande de canal données. Ce fait, auquel s'ajoute la limite maximale de puissance spécifiée au § 4.1 e) ci-dessus pour un canal radioélectrique quelconque, aura pour conséquence de limiter la longueur maximale d'une liaison pour une disponibilité donnée ou de réduire la disponibilité réalisable pour une longueur donnée.

5 Affaiblissement atmosphérique par ciel clair

5.1 Paramètres géoclimatiques et gammes de valeurs applicables

Si l'on veut tester la sensibilité de certains éléments de systèmes du service fixe aux brouillages en fonction des facteurs géoclimatiques, on peut appliquer la méthode paramétriquement à une large gamme de paramètres systémiques et de facteurs géoclimatiques.

Pour calculer l'affaiblissement par absorption atmosphérique on peut envisager d'utiliser deux Recommandations, la Recommandation UIT-R P.676-4, en fonction de l'emplacement, dans le cas de liaisons espace vers Terre et de trajets du service fixe (méthode décrite dans l'Annexe 2) et la Recommandation UIT-R SF.1395 qui est basée sur l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R P.676 et sur la Recommandation UIT-R P.835 et qui donne l'affaiblissement minimum sur les liaisons espace vers Terre pour le mois le plus sec (à utiliser dans les études de partage entre le SFS et le service fixe). Pour la méthode de calcul de l'affaiblissement sur les trajets espace vers Terre décrite dans la Recommandation UIT-R P.676 on a besoin de certaines données concernant l'emplacement, qui se trouvent dans d'autres Recommandations de l'UIT-R relatives à la propagation. Le Tableau 1 donne des valeurs représentatives des paramètres géoclimatiques nécessaires pour 13 exemples d'emplacement. Les facteurs géoclimatiques nécessaires à la mise en œuvre de la Recommandation UIT-R P.676 aux fins du calcul de l'affaiblissement atmosphérique sont indiqués dans le Tableau 2.

TABLEAU 1

Exemple de paramètres géoclimatiques propres à un emplacement à utiliser pour effectuer une étude de sensibilité à la puissance surfacique de brouillage sur les liaisons espace vers Terre du SFS/service fixe en fonction de l'emplacement (latitude) et des paramètres géoclimatiques locaux

Emplacement	Coordonnées du système du service fixe			Paramètres en hiver ⁽¹⁾							
	Lat. (+°N)	Long. (+°E)	Emplacement	h_s (km)	P (hPa)	N_0	ρ_1 (g/m ³)	T (K)	T (°C)	h_R (km)	$R_{0,01}$ (mm/h)
01	-60	-56,0	Antarctique	0,01	1010,8	302	3	270,9	-2,2	1,01	16,2
02	-45	-70,0	Amérique du Sud	0,50	1018,9	295	2	279,5	6,3	2,39	10,8
03	-30	30,5	République sudafricaine	0,50	1018,9	307	6	290,9	17,7	4,36	59,2
04	-15	-48,0	Brésil (Est)	0,50	1012	329	10	297,1	23,9	4,81	96,4
05	0	100,0	Indonésie	0,01	1012	389	22	299,7	26,6	4,91	119,7
06	15	102,5	Asie du Sud-Est	0,20	1012	360	16	294,6	21,5	5,07	96,2
07	15	50,0	Moyen-Orient	0,15	1012	353	15	295,1	21,9	4,75	17,1

TABLEAU 1 (*fin*)

Emplacement	Coordonnées du système du service fixe			Paramètres en hiver ⁽¹⁾							
	Lat. (+°N)	Long. (+°E)	Emplacement	h_s (km)	P (hPa)	N_0	ρ_1 (g/m ³)	T (K)	T (°C)	h_R (km)	$R_{0,01}$ (mm/h)
08	30	-91,5	Sud des Etats-Unis d'Amérique	0,01	1018,9	338	10	285,3	12,1	4,58	83,7
09	30	120,0	Chine	0,10	1018,9	324	6,5	279,0	5,8	5,06	50,3
10	45	6,0	Europe occidentale	0,30	1018,9	315	4,5	275,7	2,6	3,18	24,7
11	45	-67,5	Nord-Est des Etats-Unis d'Amérique	0,01	1018,9	314	5	279,6	6,5	3,64	32,6
12	60	18,8	Scandinavie	0,01	1010,8	313	3	267,5	-5,7	2,16	21,5
13	60	30,5	Baltique	0,01	1010,8	310	1,5	261,7	-11,4	2,44	25,3

NOTE – Les températures données sont calculées à partir des autres paramètres qui sont fournis.

⁽¹⁾ Ces paramètres géoclimatiques sont définis dans le Tableau 2.

TABLEAU 2
Paramètres géoclimatiques

Symbole	Paramètre	Unité
λ	Latitude de la cellule P-MP	+°N/-°S
ρ	Densité de vapeur d'eau	g/m ³
P	Pression atmosphérique (0 m au-dessus du niveau moyen de la mer)	hPa
N_0	Indice de réfraction radioélectrique	
h_R	Hauteur de pluie (au-dessus du niveau moyen de la mer) déterminée à partir de la Recommandation UIT-R P.839	km
$R_{0,01}$	Taux de précipitation (dépassé pendant 0,01% du temps)	mm/h
ξ	Longitude	+°E/-°W

Il convient également de noter que certains des paramètres sont liés. Une liste de ces paramètres est donnée au § 5.2.

5.2 Densité de vapeur d'eau, pression atmosphérique et indice de réfraction radioélectrique

Etant donné que la modélisation en fonction de l'emplacement décrite dans la Recommandation UIT-R P.676 est difficile à mettre en œuvre pour calculer l'affaiblissement atmosphérique sur des trajets obliques, des précisions sont données ci-après. Les modalités détaillées de mise en œuvre de ce modèle sont décrites dans la Recommandation UIT-R SF.1395. La Recommandation UIT-R P.453-7 établit un lien entre les paramètres densité de vapeur d'eau, pression atmosphérique, température et indice de réfraction radioélectrique. Dans la méthode décrite dans la Recommandation UIT-R P.676 on utilise, dans un souci de simplicité, un seul des

paramètres géoclimatiques du Tableau 1¹, à savoir la pression atmosphérique, paramètre qui présente la plus faible variabilité à l'échelle mondiale parmi tous les paramètres de la Recommandation UIT-R SF.1395. Si on dispose de données locales plus précises, on peut les utiliser.

La densité de vapeur d'eau, ρ , et l'indice de réfraction radioélectrique moyen, N_0 sont déterminés à partir de cartes mondiales (voir respectivement les Recommandations UIT-R P.836 et UIT-R P.453). On utilise les valeurs de février (hiver) de ρ et N_0 pour l'hémisphère Nord et les valeurs de juillet (hiver) pour l'hémisphère Sud étant donné qu'elles donnent les valeurs minimales pour l'affaiblissement par les gaz atmosphériques, γ (dB/km) sur le trajet dans la direction du brouillage. On applique les valeurs d'hiver de l'affaiblissement atmosphérique tel qu'il a été calculé au trajet du signal utile (de Terre) et au trajet du signal brouilleur (provenant du satellite). Étant donné qu'elle est fonction de la densité de vapeur d'eau, de la pression atmosphérique et de l'indice de réfraction radioélectrique, la température peut être calculée à partir des autres paramètres. On utilise la température ainsi que la densité de vapeur d'eau, ρ et la pression atmosphérique, P pour calculer l'affaiblissement dû aux gaz atmosphériques sur le trajet du signal utile et sur le trajet du signal brouilleur (voir la Recommandation UIT-R P.676). L'expression utilisée dans l'équation (1) pour calculer la température découle des équations (1) à (9) de la Recommandation UIT-R P.453. On utilise des cartes mondiales des températures mensuelles moyennes minimales et maximales pour vérifier les températures.

$$T = \frac{1722,455 \cdot \rho + 77,6P}{N_0 \cdot e^{(-h_s/7,35)}} \quad \text{K} \quad (1)$$

où:

- ρ : densité de vapeur d'eau (g/m^3)
- P : pression atmosphérique (hPa)
- N_0 : indice de réfraction radioélectrique
- h_s : altitude de la surface de la Terre par rapport au niveau de la mer (km).

La valeur ρ de la densité de vapeur d'eau utilisée dans l'équation (1) est la valeur hypothétique mesurée au niveau de la mer et calculée comme suit

$$\rho = \rho_1 \times \exp(h_s / 2) \quad (2)$$

où ρ_1 est la valeur correspondant à l'altitude h_s de la station considérée et où la hauteur équivalente de la densité de vapeur d'eau est supposée égale à 2 km (voir la Recommandation UIT-R P.835).

Bien qu'il ne soit pas nécessaire pour calculer l'affaiblissement dû aux gaz atmosphériques avec la méthode d'approximation donnée dans l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R P.676, l'indice de réfraction, N_0 , est utilisé pour calculer la température ainsi que des valeurs par bandes de latitude de la pression atmosphérique et des valeurs locales de la densité de vapeur d'eau. La valeur de la

¹ La pression atmosphérique moyenne rapportée au niveau de la mer peut être considérée comme étant constante dans le monde (égale à 1 013 hPa) mais la densité de vapeur d'eau non seulement varie beaucoup en fonction des climats mais est aussi mesurée à la surface (c'est-à-dire à l'altitude de la station au sol). Pour avoir des valeurs de la densité de vapeur d'eau à la surface, voir les Recommandations UIT-R P.836 et UIT-R P.453).

température calculée selon la Recommandation UIT-R P.453 est cohérente avec les valeurs de la pression et de la densité de vapeur d'eau.

5.3 Incidence des effets liés à la propagation

On calcule les affaiblissements sur le trajet dus aux gaz atmosphériques sur la base des valeurs de février (valeurs d'hiver) de la densité de valeur d'eau; ainsi l'analyse donne des valeurs prudentes (minimales) de l'affaiblissement atmosphérique conduisant à des estimations plus élevées du brouillage. Pendant la plupart des autres périodes de l'année, l'affaiblissement dû aux gaz atmosphériques sera plus important que pendant le mois le plus défavorable. L'effet net du brouillage à long terme subi par les systèmes P-MP et P-P du service fixe sera moins important que la dégradation de la qualité de fonctionnement calculée en utilisant les valeurs minimales d'hiver de l'affaiblissement par les gaz atmosphériques.

Dans tout environnement d'exploitation réel, l'affaiblissement dû à la végétation et aux structures construites par l'homme est inévitable. Le brouillage sur le trajet du signal brouilleur depuis l'arc OSG sera moins important que la valeur calculée dans l'analyse car, selon toute vraisemblance, une partie de l'arc sera occultée pour l'antenne de réception. Dans la pratique, un récepteur du service fixe à partir duquel la totalité de l'arc OSG est visible sera brouillé essentiellement par un seul satellite et, dans une moindre mesure, par les satellites adjacents à 2° ou plus. Par conséquent, le brouillage effectivement reçu sera fonction de la portion de l'arc OSG occultée.

6 Calculs relatifs aux systèmes et aux brouillages

Dans la méthode considérée on compare le rapport $C/(N + I)$ à la réception et la valeur seuil du rapport C/N au niveau du récepteur pour évaluer les risques de brouillage et on n'utilise pas le rapport I/N . Etant donné que le brouillage causé par les satellites OSG est un brouillage à long terme et que son niveau reste constant par ciel clair, on exprime l'incidence sur la disponibilité à long terme sous forme du pourcentage de temps pendant lequel le système du service fixe fonctionne avec un TEB moins bon que le TEB seuil à long terme pendant une année moyenne, en présence de brouillage.

6.1 Calculs relatifs à la marge requise

Le niveau maximal de la porteuse reçue, P_{Rx} , dans une largeur de bande de référence de 1 MHz, mesuré au niveau du récepteur du service fixe par ciel clair est:

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} - L_{FS} - L_{Atm_t} + G_{Rx} \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (3)$$

où:

- P_{Tx} : puissance de l'émetteur dans la largeur de bande de référence (dB(W/MHz))
- G_{Tx} : gain maximal de l'antenne d'émission du système du service fixe (dBi)
- G_{Rx} : gain maximal de l'antenne de réception du système du service fixe (dBi)
- L_{FS} : affaiblissement en espace libre depuis l'antenne d'émission jusqu'à l'antenne de réception (dB)

- L_{Atm_t} : affaiblissement dû aux gaz atmosphériques sur le trajet de Terre du signal utile:
- L_{Atm_t} pour un système P-MP est calculé pour la hauteur d'antenne minimale par rapport au sol étant donné qu'il correspond au cas le plus défavorable dans lequel la valeur de ρ est la plus élevée et le trajet est le plus long, et
 - L_{Atm_t} pour un système P-P est calculé pour la hauteur moyenne du trajet au-dessus du niveau moyen de la mer.

Une liaison du service fixe est conçue de façon à ce que le rapport $C/(N + I)$ à la réception soit égal ou supérieur à la valeur seuil du rapport C/N correspondant au critère de qualité à long terme en termes de TEB. La marge de protection requise contre les évanouissements dus à la pluie pour laquelle un récepteur est censé recevoir le signal utile à un niveau seuil C/N donné (correspondant à un seuil de qualité souhaité en termes de TEB) pour la disponibilité nominale de $100 - p_D$ (%) est donnée par:

$$M_{Req} = A_p(p_D) \quad \text{dB} \quad (4)$$

où $A_p(p_D)$ est l'affaiblissement dû à la pluie qui est dépassé pendant le $p_D\%$ de temps le plus défavorable et déterminé conformément au § 2.4 de la Recommandation UIT-R P.530-8.

Dans de nombreux systèmes P-P, l'utilisation de la régulation automatique de puissance de l'émetteur (RAPE) peut permettre une exploitation avec des marges de protection contre les évanouissements plus faibles pour une même disponibilité. La présente méthode ne tient pas compte actuellement des liaisons P-P qui utilisent la régulation RAPE.

6.1.1 Détermination du brouillage intraservice (intrasystème) et du brouillage interservice

Par ciel clair, le bruit total, brouillage intraservice compris, est donné par l'expression suivante:

$$(N_{Thermal} + I_{Intra} + I_{Inter}) = 10 \log \left(10^{N_{Thermal}/10} + 10^{I_{Intra}/10} + 10^{I_{Inter}/10} \right) \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (5)$$

où:

$N_{Thermique}$ est le bruit thermique, dans une largeur de bande de référence de 1 MHz, d'un récepteur du service fixe donné, lequel est calculé selon la procédure décrite au § 6.5, compte tenu des éléments suivants:

- facteur de bruit, F , du récepteur et affaiblissement d'alimentation, L_F ;
- angle d'élévation de l'antenne du récepteur du service fixe;
- absorption atmosphérique sur la totalité du trajet oblique dans l'atmosphère; et

$I_{Intra\ CS}$ est le brouillage intraservice, brouillage intrasystème compris, causé par tous les autres émetteurs du service fixe, par ciel clair. Dans le cas de systèmes P-P ou de systèmes P-MP on a supposé pour mettre en œuvre la méthode donnée au § 6.1.1.1, que le brouillage intraservice se propage le long de trajets horizontaux.

Le brouillage intraservice, I_{Intra} , que reçoit un récepteur du service fixe peut être fixé à un niveau qui fait augmenter le bruit total que subit ce récepteur d'une valeur de Y (dB) spécifiée par l'utilisateur au-dessus du bruit thermique du système. Il est possible d'exprimer le brouillage intraservice attribué par ciel clair sous forme du rapport brouillage intraservice/bruit thermique et le brouillage intraservice peut alors être calculé directement. La méthode prévue au § 6.1.1.1 peut être utilisée sauf si on met au point un modèle propre aux configurations du service fixe pour calculer le

brouillage intraservice causé à chaque récepteur du service fixe d'un système P-MP ou d'un système P-P.

I_{Inter} est le brouillage interservice causé par les systèmes du SFS. Le brouillage intersystème, I_{Inter} , causé à un récepteur du service fixe peut être fixé à un niveau qui fait augmenter le bruit total que reçoit ce récepteur d'une valeur de Z (dB) spécifiée par l'utilisateur au-dessus du bruit thermique du système. Le brouillage intersystème attribué est supposé constant par rapport au bruit thermique en cas d'évanouissements dus à la pluie ou par ciel clair.

6.1.1.1 Calcul du brouillage intraservice (intrasystème) causé aux récepteurs du service fixe

Le brouillage intraservice ($I_{Intra 0}$) que reçoit un récepteur d'abonné de référence d'un système P-MP ou d'un système P-P avec un angle d'élévation de ϵ_0 est fixé à un niveau qui fait augmenter le bruit thermique que reçoit le récepteur le plus éloigné du centre de la cellule d'une valeur de Y (dB) spécifiée par l'utilisateur. Le brouillage interservice, I_{Inter} , causé à un récepteur d'abonné d'un système P-MP ou d'un système P-P est fixé à un niveau qui fait augmenter le bruit thermique causé à ce récepteur d'une valeur de Z (dB) spécifiée par l'utilisateur. Le niveau de brouillage intraservice que reçoit ce récepteur de référence dans une largeur de bande de référence est calculé à l'aide de l'équation (6):

$$I_{Intra 0} = N_{Thermique} + 10 \log(10^{Y/10} - 1) \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (6)$$

Pour tous les autres abonnés, le niveau de brouillage est calculé par rapport au brouillage intraservice que reçoit le récepteur de référence, à l'aide de l'équation (7):

$$I_{Intra i} = I_{Intra 0} + (G(\epsilon_i) - G(\epsilon_0)) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

où:

- i : indice pour le i ème récepteur
- n : nombre total de récepteurs possibles
- $G(\epsilon_0)$: gain de l'antenne de la station d'abonné réceptrice de référence en direction de l'horizon (dBi)
- $G(\epsilon_i)$: gain de l'antenne de la i ème station d'abonné réceptrice en direction de l'horizon (dBi)
- ϵ_0 : angle d'élévation formé par la station d'abonné de référence et l'antenne de la station d'émission du service fixe (degrés)
- ϵ_i : angle d'élévation formé par le i ème récepteur et l'antenne d'émission du système du service fixe (degrés).

Le niveau de brouillage interservice que reçoit ce récepteur de référence dans la largeur de bande de référence est calculé à l'aide de l'équation (8):

$$I_{Inter} = N_{Thermique} + 10 \log(10^{Z/10} - 1) \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (8)$$

Dans certains cas les récepteurs d'abonné situés sur de hauts bâtiments à proximité du bord d'une cellule pourraient recevoir des niveaux de brouillage plus élevés qu'un récepteur de référence étant donné qu'ils sont plus exposés puisqu'ils ont un gain plus élevé en direction de l'horizon. Ce cas est traité par l'équation (7) lorsque $\epsilon_i < \epsilon_0$ et $G(\epsilon_i) > G(\epsilon_0)$, causant $I_{Intra i} > I_{Intra 0}$.

6.1.1.2 Calcul de la part relative du brouillage intraservice et du brouillage externe en cas d'évanouissements dus à la pluie

En cas d'évanouissements dus à la pluie on observe que la part de brouillage dans le total bruit thermique + brouillage est plus faible que la part correspondante par ciel clair. Etant donné que le brouillage intraservice causé par d'autres systèmes du service fixe et le brouillage extérieur causé par les satellites OSG situés sur la totalité de l'arc visible proviennent de nombreuses directions différentes, il n'y aura pas de corrélation entre l'évanouissement du signal utile et les évanouissements de tous les signaux brouilleurs. Le brouillage extérieur I_{OSGi} est supposé être moins important uniquement lorsque le satellite OSG est situé à l'intérieur d'un angle $u\varphi_m$ par rapport à l'axe du faisceau principal de l'antenne de la station de réception du service fixe où u est une constante dont la valeur est fixée provisoirement entre 1 et 2,5. En attendant d'autres résultats d'études sur la propagation qui permettraient au Groupe de Travail 3M de donner des avis sur l'angle hors axe dans lequel on observe des évanouissements corrélés du signal brouilleur et du signal utile du service fixe, la valeur de u est provisoire. L'angle φ_m est le demi-angle délimitant le faisceau principal de l'antenne du service fixe (voir la Recommandation UIT-R F.1245).

On observera un certain affaiblissement en direction d'autres satellites qui ne sont pas à l'intérieur de cet angle $u\varphi_m$. Toutefois, on peut supposer (hypothèse prudente) que l'affaiblissement par la pluie en direction de tous les satellites OSG qui ne se trouvent pas dans le faisceau principal d'un récepteur possible du service fixe a été fixé à zéro.

$I_{Intra i}$ peut être considéré comme constant par ciel clair et en cas d'évanouissements dus à la pluie. $I_{Intra i}$, dans le cas où on suppose que le brouillage intraservice se propageant horizontalement le long de l'azimut de l'axe de visée du système du service fixe est la principale composante du brouillage, peut aussi être affaibli dans des conditions d'évanouissements dus à la pluie le long de la projection horizontale du trajet du signal utile du service fixe.

6.2 Calcul de la puissance d'émission requise

Etant donné que le récepteur doit recevoir à un niveau égal ou supérieur à son niveau seuil $(C/N)_{Thresh}$, pendant la totalité du temps sauf $p(\%)$, il est possible de déterminer la densité de puissance minimale à l'émission sachant qu'en cas d'évanouissements dus à la pluie:

$$\begin{aligned} \left(\frac{C}{N}\right)_{Thresh} &= P_{Rx \text{ Rain Faded}} - (N + I_{Intra} + I_{Inter})_{Rain Faded} && \text{dB} \\ &= P_{Rx CS} - A_p(p) - (N + I_{Intra} + I_{Inter})_{Rain Faded} \end{aligned} \quad (9)$$

où:

$P_{Rx \text{ Rain Faded}}$:

niveau de la porteuse utile reçue (dB(W/MHz)) en cas d'évanouissements dus à la pluie lorsque le récepteur est à son niveau seuil

$P_{Rx CS}$:

niveau de la porteuse utile reçue (dB(W/MHz)) par ciel clair

$(N + I_{Intra} + I_{Inter})_{Rain Faded}$:

bruit total (dB(W/MHz)) comprenant le brouillage intraservice et le brouillage interservice en cas d'évanouissements dus à la pluie.

En utilisant la valeur de l'équation (9) dans l'équation (3) et en effectuant les calculs pour P_{Tx} , la puissance d'émission minimale requise pour que la liaison puisse fonctionner à sa disponibilité nominale est:

$$P_{Tx_{min}} = L_{FS} + L_{Atm_t} - (G_{Tx} + G_{Rx}) + M_{Req} + \left(\frac{C}{N}\right)_{Thresh} + (N + I_{Intra} + I_{Inter})_{Rain Faded} \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (10)$$

où L_{FS} et L_{Atm_t} sont les affaiblissements tels qu'ils sont définis dans l'équation (3).

6.3 Calculs du niveau de la porteuse reçue

6.3.1 Calcul du niveau de la porteuse reçue et de la marge requise pour une liaison du service fixe station centrale vers station d'abonné d'un système P-MP (liaison aller)

On calcule le niveau de la porteuse reçue par ciel clair en utilisant la même formule que dans le § 6.1 ci-dessus, mais G_{Tx} n'est pas une valeur constante unique. G_{Tx} varie en fonction du biais de pointage de l'antenne de la station centrale, de la distance et de l'angle d'élévation depuis le récepteur.

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx(\varphi)Hub} - L_{FS} - L_{Atm_t} + G_{Rx Sub} \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (11)$$

$G_{Tx(\varphi)Hub}$ est la directivité de l'antenne de la station centrale en direction d'une antenne de station d'abonné donnée où $(\varphi)_{Hub}$ est la valeur absolue de l'angle par rapport à la direction de la directivité maximale, valeur qui est mesurée dans le plan vertical. $G_{Tx(\varphi)Hub}$ est calculé selon la Recommandation UIT-R F.1336. G_{RxSub} est le gain maximal à la réception de l'antenne de la station d'abonné. Les affaiblissements L_{FS} et L_{Atm_t} sont spécifiés au niveau d'une station de réception d'abonné de référence située en limite de la cellule.

Plutôt que devoir calculer une valeur unique de la marge requise pour obtenir la disponibilité souhaitée comme dans le cas d'un système P-P du service fixe pour une longueur de trajet donnée, on recalcule la marge requise pour réaliser la disponibilité nominale à tous les points possibles de la cellule P-MP où le signal sur la liaison aller peut être reçu. La marge requise pour la cellule P-MP varie sur toute l'étendue de la cellule en fonction de la distance et de l'angle d'élévation par rapport à l'antenne de la station centrale. Le niveau de la porteuse reçue relevé à la station d'abonné est fortement influencé par les deux facteurs suivants:

- Le gain d'antenne à l'émission de la station centrale dans la direction de la station d'abonné, lequel est fonction de l'angle hors axe de l'antenne de la station centrale dans le plan de l'angle d'élévation.
- La distance de la station d'abonné par rapport à la station centrale, laquelle est fonction de la longueur du trajet horizontal et de la différence entre la hauteur de l'antenne de la station d'abonné et la hauteur de l'antenne de la station centrale.

6.3.2 Calcul du niveau de la porteuse reçue et de la marge requise pour une liaison P-P du service fixe

On calcule le niveau de la porteuse reçue à l'aide de l'équation (3) du § 6.1:

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx P-P} - L_{FS} - L_{Atm_t} + G_{Rx P-P} \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (12)$$

où:

- $G_{Tx P-P}$: directivité maximale de l'antenne d'émission du système P-P dans la direction de l'antenne de la station d'abonné
- $G_{Rx P-P}$: gain de l'antenne du système de réception P-P dans la direction de l'antenne de la station d'émission
- L_{FS} : affaiblissement en espace libre sur le trajet entre l'émetteur et le récepteur et dépend uniquement de la longueur du trajet et de la fréquence
- L_{Atm} : absorption atmosphérique observée le long du trajet du signal utile.

6.4 Calcul de la marge disponible

Pour calculer la marge disponible pour un récepteur possible du service fixe, quel qu'il soit, il faut tenir compte des variations des niveaux du brouillage intraservice et du brouillage extérieur qu'on observe dans des conditions d'évanouissements dus à la pluie. Le calcul de la marge disponible est un processus itératif car il dépend nécessairement du pourcentage de temps effectif pendant lequel cet évanouissement peut être toléré sur la liaison utile. La marge disponible de protection contre les évanouissements dus à la pluie pour la i ème antenne d'un récepteur dans le cas d'un système P-P ou P-MP est calculée à l'aide de l'équation (13):

$$M_{Avail_i} = \left(\frac{P_{Rx CS}}{N_{Thermal} + I_{Intra i} + I_{Inter} + I_{OSG Total}} \right) - \left(\frac{C}{N} \right)_{Thresh} \quad \text{dB} \quad (13)$$

où:

- $P_{Rx CS}$: P_{RX} de l'équation (10) ou (11) pour le niveau du signal reçu par ciel clair dans le cas d'un système P-MP ou d'un système P-P, selon le cas
- $N_{Thermal}$: bruit thermique du système dans la largeur de bande de référence (dB(W/MHz)) à l'entrée du récepteur, calculé à l'aide de l'équation (18) du § 6.5
- $I_{Intra i}$: valeur du brouillage intraservice causé au i ème récepteur possible du service fixe dans le cas d'un système P-P ou d'un système P-MP, calculée à l'aide des équations (6) ou (7) selon le cas, ou en utilisant un modèle de brouillage intraservice plus élaboré
- I_{Inter} : valeur du brouillage interservice calculée à partir du brouillage interservice attribué pour le brouillage causé par le service fixe à un récepteur du service fixe
- $I_{OSG Total}$: brouillage extérieur total que reçoit le i ème récepteur du service fixe brouillé depuis les liaisons espace vers Terre de tous les satellites OSG (voir le § 6.6), modifié par les évanouissements dus à la pluie sur le trajet oblique, si nécessaire; et
- $(C/N)_{Thresh}$: valeur seuil du rapport porteuse/bruit du récepteur du service fixe brouillé.

On peut calculer la différence de marge ΔM en utilisant la valeur de M_{Avail} de l'équation (13) et la valeur de M_{Req} de l'équation (3). La disponibilité ainsi obtenue, en présence de brouillage extérieur, est moins importante que la disponibilité nominale si ΔM est négative. Dans le cas de systèmes P-P, on suppose dans le présent modèle que les liaisons sont conçues de façon à tout juste satisfaire le critère de disponibilité nominale en l'absence de brouillage intersystème et ΔM sera négative en

présence de brouillage extérieur. Par contre, dans le cas de systèmes P-MP, ΔM peut être positive pour un pourcentage important de récepteurs possibles. Il en résulte que certains récepteurs à l'intérieur d'une cellule P-MP reçoivent avec une disponibilité $(100 - p_{Unavail} \%)$ réalisée supérieure à leur disponibilité nominale $(100 - p_D \%)$.

On peut calculer une nouvelle valeur $A_j(p_j)$ de $A(p)$ à partir de l'équation (14) afin d'obtenir une nouvelle valeur de la disponibilité réalisée qui est égale à $(100 - p_j \%)$. On fera le calcul pour p_j en posant $A_j(p_j)$ égal à A_p dans l'équation (42) (ou l'équation (43) selon le cas) de la Recommandation UIT-R P.530:

$$A_j(p_j) = A(p_D) + \Delta M \quad 0,001 \leq p_j \leq 1,0 \quad (14)$$

Il faut calculer la disponibilité réalisée pour les récepteurs possibles du service fixe lorsqu'il y a un satellite OSG à l'intérieur de l'angle φ_m . Lorsque le trajet du signal utile et celui du signal brouilleur sont colinéaires on doit observer une corrélation de 100% sur la partie du trajet qui est commune au signal de Terre utile et au signal brouilleur provenant de la station spatiale. On suppose qu'il y a corrélation entre d'une part l'évanouissement dû à la pluie sur le trajet oblique entre l'émetteur utile du service fixe et un satellite OSG brouilleur du service fixe et d'autre part l'évanouissement sur le trajet du signal utile uniquement lorsque le satellite se trouve à l'intérieur de l'angle φ_m par rapport à l'axe de visée de l'antenne d'un récepteur possible du service fixe. Dans ces conditions, le pourcentage de temps associé $p_{Unavail}$ pendant lequel les affaiblissements sur le trajet de Terre du signal utile et sur le trajet oblique du signal brouilleur sont dépassés doit être le même. Il faut utiliser l'algorithme suivant:

Procédure itérative pour calculer la disponibilité réalisée d'un récepteur du service fixe en présence de brouillage à proximité de l'axe de visée du système OSG du SFS

Début:

Etape 1: Calculer $M_{Req} = A(p_D)$ (équation (4))

Etape 2: Commencer l'itération $j = 1$

Etape 3: $p_j = p_D$

Etape 4: Calculer $M_{Avail j}(p_j)$ (équation (13)).

A noter que la valeur $I_{OSG i}$, dans l'équation (13) doit tenir compte du fait que ces contributions de brouillage $I_{OSG i}$ (équation (19)) à proximité du faisceau principal de la station du service fixe ($u\varphi_m$, § 6.1.1.2) sont réduites de $A_p(p_j)$ valeur donnée par l'équation (11) dans l'Etape 10 de la Recommandation UIT-R P.618-6.

$I_{intra i}$, dans l'équation (13) est réduite uniquement le long du trajet horizontal du signal utile du service fixe (dépassé pendant le pourcentage de temps p_j) en utilisant l'équation (42) (ou (43), selon le cas) des Etapes 5 et 6 de la Recommandation UIT-R P.530-8.

Etape 5: Calculer le différentiel de marge $\Delta M_j = M_{Avail j} - M_{Req}$

Etape 6: Si $\Delta M_j < \text{seuil de précision}$, aller jusqu'à «Fin»

sinon

Etape 7: Poser $A(p_{j+1}) = A(p_j) + \Delta M_j = A_p$ conformément à l'équation (42) (ou (43), selon le cas) de la Recommandation UIT-R P.530 et effectuer les calculs pour p_{j+1} .

Etape 8: Si $0,001 \leq p_{j+1} \leq 1,0$ poursuivre

sinon aller jusqu'à «Fin»

Etape 9: Calculer une nouvelle valeur de p_{j+1} à utiliser dans la prochaine itération.

Donner à p_{j+1} la valeur de $10^{[(\log(p_{j+1}) + \log(p_j))/2]}$

Etape 10: Incrémenter j , positionner j à une valeur de $j + 1$

Etape 11: Revenir à l'Etape 4

Fin.

Dans les cas où l'indisponibilité nominale est 0,001%, la disponibilité réalisée lorsque $\Delta M > 0$, est fixée à un maximum de 99,999% étant donné qu'il n'y a pas de modèle de propagation valable pour un affaiblissement dû à la pluie dépassé pendant $p < 0,001\%$.

6.5 Calcul du bruit thermique du système

Par température de bruit du système on entend le bruit de l'antenne et celui de l'équipement.

Par définition, la température de bruit du récepteur, T_e , est calculée à partir du facteur de bruit du système, à l'aide de l'équation suivante:

$$T_e = T_0(10^{F/10} - 1) \quad (15)$$

où

T_0 : température ambiante (K)

F : facteur de bruit du système rapporté à l'entrée du récepteur (dB)

et l'équation générale de la température de bruit du système T_{Sys} par ciel clair est:

$$T_{Sys} = 10^{-L_F/10} \cdot T_{Ant} + T_m \cdot (1 - 10^{-L_F/10}) + T_e \quad \text{K} \quad (16)$$

où par définition l'affaiblissement du système d'alimentation à la réception, L_F , est fixé à 0 dB, la température moyenne, T_m , est fixée à T_0 (290 K) et T_{Ant} est fixée à T_0 (290 K).

En prenant les valeurs de L_F , T_m et T_{Ant} qui s'appliquent dans la définition du facteur de bruit du système, l'équation pour T_{Sys} se simplifie comme suit:

$$T_{Sys} = T_{Ant} + T_e = 290 + T_e \quad (17)$$

La densité de bruit thermique du système N_0 est calculée à l'aide de T_{Sys} de l'équation (16)

$$N_0 = 10 \log(kT_{Sys}) \quad (18)$$

où:

k : constante de Boltzman = $1,3806 \times 10^{-23}$ J/K

6.6 Calcul du brouillage causé par les liaisons descendantes OSG du SFS à des récepteurs de systèmes P-MP ou P-P du service fixe

On calcule le niveau de brouillage que reçoit chaque récepteur du service fixe pour chaque satellite visible émettant par hypothèse à un niveau défini par l'utilisateur dans les limites du gabarit de puissance surfacique approprié pour la bande considérée. La méthode est tout à fait souple et peut être utilisée avec n'importe quel gabarit de puissance surfacique permettant d'effectuer une analyse de sensibilité en fonction des niveaux de puissance surfacique. Le niveau maximal de brouillage pour une seule source de brouillage (I_{OSGj}) causé à un récepteur donné du service fixe, et dépassé pendant $p(\%)$ du temps serait:

$$I_{OSGj}(p) = dfp_j + G_{Rx}(\varphi_{Sj}) - G_{1m^2} - A(p) - L_F - L_{ATM_Sj} - L_{bsj} \quad \text{dB(W/MHz)}$$

$$I_{OSG\text{Total}} = 10 \log \left(\sum_{j=1}^{n_{OSG}} 10^{I_{OSGj}/10} \right) \quad (19)$$

où:

- j : j ème satellite brouilleur, $j = 1, 2, \dots, n$
- n_{OSG} : nombre total possible de satellites visibles au-dessus de l'horizon
- dfp_j : niveau de puissance surfacique appliqué à la liaison descendante du j ème satellite OSG compte tenu de l'angle d'élévation tel qu'il est vu au niveau du récepteur du service fixe brouillé (dB(W/m² · MHz))
- $G_{Rx}(\varphi_{Sj})$: gain à la réception dans la direction de la source de brouillage (dBi) calculé conformément au § 2.2 de la Recommandation UIT-R F.1245 et qui convient pour représenter les lobes latéraux moyens d'une antenne directive lorsque le brouillage provient de plusieurs sources
- φ_{Sj} : angle formé par la direction du signal utile du service fixe et celle du signal brouilleur du service fixe (degrés)
- G_{1m^2} : gain d'une antenne parfaite de 1 m² à la fréquence du brouillage ($4\pi/\lambda^2$) (dBi)
- $A(p)$: perte due à l'affaiblissement par la pluie dépassée pendant $p(\%)$ du temps sur le trajet oblique en direction d'un satellite OSG²:
0, pour $\varphi_{Sj} > \varphi_m$
- Ap^3 : (calculé conformément à la Recommandation UIT-R P.618), pour $\varphi_{Sj} \leq u\varphi_m$
- L_F : Affaiblissement du système d'alimentation à la réception du service fixe (dB)
- L_{Atm_Sj} : Affaiblissement dû aux gaz atmosphériques sur le trajet oblique (dB)
- L_{bsj} : Affaiblissement dû à l'étalement du faisceau sur le trajet espace vers Terre (dB).

² Dans les cas où il y a un satellite OSG du service fixe visible à l'intérieur du faisceau principal de l'antenne du récepteur du service fixe possible, la valeur de la marge disponible affectera la valeur de $A(p)$ et le pourcentage de temps p pendant lequel Ap est évalué. Voir le § 6.4 pour avoir des précisions concernant le calcul itératif de p .

³ $A(p) = 0$ pour le long terme et par ciel clair lorsque $p \geq 20\%$.

La Note 7 du *recommande* 4 de la Recommandation UIT-R F.1245 donne une formule permettant de calculer le gain effectif d'une antenne directive du service fixe en direction d'un satellite géostationnaire. On a supposé que chaque satellite OSG du service fixe émet au niveau maximal du gabarit de puissance surfacique prescrit. Lorsque le satellite se trouve dans le faisceau principal de l'antenne de la station du service fixe, cette antenne se trouve elle aussi dans le faisceau principal de l'antenne du satellite et donc la formule de la Note 7 permettant de calculer le gain effectif G_{eff} compte tenu de l'avantage de polarisation s'applique. On suppose que les satellites utiliseront des signaux à polarisation circulaire et que les systèmes de service fixe utiliseront des signaux à polarisation rectiligne.

Pour le calcul de $G_{Rx}(\varphi_{Sj})$ dans l'équation (19) on suppose que les deux polarisations orthogonales ne seront pas réutilisées dans le même faisceau du même satellite. Pour les satellites qui desservent de grandes stations terriennes passerelles avec un certain nombre de petits faisceaux ponctuels géographiquement séparés, on a supposé, pour des considérations de limitation de puissance et de bilan de liaison, qu'on n'utilisera pas dans les mêmes faisceaux des canaux cofréquence à polarisation orthogonale.

Pour calculer l'espacement angulaire φ_{Sj} pour des satellites OSG ayant de petits angles d'élévation on peut utiliser la Recommandation UIT-R P.834 en prenant la hauteur, h_s , du récepteur du service fixe et la valeur calculée de l'indice de réfraction à la surface de la Terre, N_S ⁴, pour déterminer l'angle d'élévation apparent du satellite brouilleur au-dessus de l'horizon à zéro degré.

Par ciel clair et dans une atmosphère réelle, on observera deux affaiblissements à long terme sur le trajet espace vers Terre du signal brouilleur provenant de satellites OSG du service fixe. Le premier est l'affaiblissement dû aux gaz atmosphériques sur le trajet oblique, L_{atm_S} , calculé selon la Recommandation UIT-R P.676. Le second est l'étalement du faisceau, L_{bs} , (§ 2.3.2 de la Recommandation UIT-R P.618). Pour obtenir une estimation prudente du brouillage service fixe, on ne devrait prendre en compte pour l'affaiblissement sur le trajet oblique que l'affaiblissement dû aux gaz atmosphériques, L_{atm_S} , étant donné que l'on a constaté que ce dernier est important dans les bandes au-dessus de 17 GHz. L'effet de l'étalement du faisceau n'est significatif que pour de très petits angles d'élévation et il présente par ailleurs la caractéristique d'avoir un écart type important par rapport à sa valeur moyenne. De plus, l'écart type est proche de la valeur médiane pour un angle d'élévation de 0°. On peut inclure l'étalement du faisceau dans l'affaiblissement sur le trajet oblique si l'on souhaite montrer l'incidence de ce phénomène sur les systèmes du service fixe à des latitudes élevées, où les récepteurs présentent de petits angles d'élévation. Les conséquences à court terme des évanouissements profonds et les améliorations (voir le § 2.4 de la Recommandation UIT-R P.618-6) n'ont pas été prises en compte dans cette méthode.

6.7 Discussion relative à la prise en compte des effets de la pluie sur les composantes de brouillage au niveau du signal utile du service fixe dans des conditions d'évanouissements dus à la pluie

Dans les bandes de fréquences au-dessus de 17 GHz, l'atmosphère a un effet significatif dans l'affaiblissement des brouillages sur les liaisons espace vers Terre, lequel varie dans des proportions importantes en fonction de l'emplacement réel du système du service fixe brouillé. On n'examine dans la présente méthode que les effets à long terme du brouillage par ciel clair. En cas d'évanouissements dus à la pluie, le brouillage sur les liaisons espace vers Terre sera lui aussi moins important mais on n'observera pas de corrélation de 100% entre l'affaiblissement sur le trajet du signal utile et l'affaiblissement sur tous les trajets des signaux brouilleurs.

⁴ Voir la Recommandation UIT-R P.453, équation (9).

Pour calculer la disponibilité réalisée en présence de brouillage à long terme de systèmes OSG du service fixe on suppose que la part du brouillage due aux satellites OSG pourrait être affaiblie par la pluie sur le trajet oblique jusqu'au satellite brouilleur mais uniquement si ce satellite est situé dans le faisceau principal de l'antenne du récepteur du service fixe. Ainsi, lorsqu'on calcule le total bruit du système + brouillage en présence d'évanouissements dus à la pluie $(N + I_{Intra} + I_{Inter} + I_{OSG})_{Total\ Rain}$, seul le brouillage causé par les satellites OSG du SFS se trouvant à l'intérieur de l'angle $u\phi_m$ par rapport au faisceau principal de l'antenne du système du service fixe est affaibli par l'évanouissement dû à la pluie calculé le long du trajet oblique et ramené à des niveaux sensiblement plus bas, de sorte que le brouillage hors faisceau principal est la principale composante du total bruit plus brouillage $(N + I_{Intra} + I_{Inter} + I_{OSG})_{Total\ Rain}$ ⁵. Il s'agit d'une hypothèse raisonnable étant donné qu'il y aura vraisemblablement également un affaiblissement dans la direction d'autres satellites. La Recommandation UIT-R P.618 s'applique à la totalité du trajet oblique depuis un point donné à une altitude h_s par rapport au niveau moyen de la mer pour un angle d'élévation donné dans toute l'atmosphère. Elle ne prévoit pas de disposition pour tenir compte d'une éventuelle corrélation (ou d'une absence de corrélation) entre les faibles altitudes et les altitudes élevées le long du même trajet oblique dans la troposphère. A tout le moins, l'affaiblissement dû à la pluie le long du trajet entre l'antenne de réception et l'antenne d'émission du service fixe commun au signal utile du service fixe et au signal brouilleur provenant du satellite OSG du service fixe (lorsque la station spatiale se trouve dans le faisceau principal) doit présenter une corrélation de 100%. C'est seulement sur le trajet qui est au-delà de l'antenne d'émission du service fixe (c'est-à-dire entre la source du signal utile et la station spatiale brouilleuse) que la corrélation entre l'évanouissement sur ce trajet et l'évanouissement sur le trajet du signal utile n'est pas connue.

Dans le cas du brouillage intraservice causé par d'autres systèmes du service fixe, la part relative du brouillage intraservice peut ne pas être réduite de la même quantité que l'évanouissement sur le trajet du signal utile pendant un évanouissement dû à la pluie. Le brouillage intraservice aura tendance à provenir de liaisons venant de directions différentes, de distances différentes et d'azimuts différents.

Ainsi, compte tenu des deux hypothèses prudentes formulées concernant les parts relatives du brouillage intersystème et du brouillage intraservice dans le bruit total du système en cas d'évanouissements dus à la pluie, la marge de protection contre les évanouissements disponible devait être plus importante que celle calculée à l'aide de la présente méthode et, par conséquent, la valeur calculée de la disponibilité réalisée serait donc par prudence sous-estimée.

7 Interprétation des statistiques de disponibilité obtenues après application de la méthode et différentes manières possibles d'exprimer les critères de partage

Les deux configurations de systèmes du service fixe, P-MP et P-P, sont fondamentalement différentes et ne sont pas affectées de la même façon par les brouillages espace vers Terre. Les critères par rapport auxquels l'acceptabilité des brouillages est mesurée devraient donc être eux aussi différents. Dans le cas des systèmes P-MP pour lesquels un certain pourcentage de récepteurs du service fixe présentent une marge excédentaire, il y aura une proportion importante de récepteurs qui dépasseront leur disponibilité nominale. Les systèmes P-P en revanche sont conçus liaison par liaison; par conséquent la disponibilité des récepteurs du service fixe en présence de brouillage extérieur sera inférieure à la disponibilité nominale en l'absence d'un tel brouillage. Dans les bandes

⁵ Défini par l'angle hors axe formé par l'axe de visée d'une antenne service fixe modélisée selon la Recommandation UIT-R F.1245.

utilisées en partage, les liaisons de ce type devraient être conçues avec une marge pour le brouillage interservice de façon à tenir compte du brouillage extérieur.

Il faut donc trouver un moyen satisfaisant d'exprimer l'incidence du brouillage espace vers Terre sur les deux configurations de systèmes du service fixe fondamentalement différentes. Le Tableau 3 ci-après donne une façon possible d'exprimer les critères que doivent respecter les systèmes du SFS en cas d'incidence sur les systèmes du service fixe.

TABLEAU 3

Paramètres utilisés pour exprimer les critères de partage

**Paramètres utilisés pour exprimer les critères de partage
dans le cas de systèmes P-MP**

Qualité de fonctionnement du système du service fixe en l'absence de brouillage du service fixe (indisponibilité nominale du système)	$X_0\%$
Qualité de fonctionnement des systèmes du service fixe en présence de brouillage du SFS	
Augmentation de l'indisponibilité exprimée sous forme d'un pourcentage de l'indisponibilité nominale.	$X_j\%$
Pourcentage de récepteurs du service fixe possibles respectant ou dépassant la disponibilité dégradée « $U_j = (100 - X_0 - X_j X_0/100)\%$ » en présence de brouillage du service fixe	$W_j\%$
$j = 1, \dots, m$ ($m =$ à déterminer)	

**Paramètres utilisés pour exprimer les critères de partage
dans le cas de systèmes P-P**

Qualité de fonctionnement du système du service fixe en l'absence de brouillage du service fixe (indisponibilité nominale du système)	$Z_0\%$
Qualité de fonctionnement du système du service fixe en présence de brouillage du SFS	
Augmentation moyenne de l'indisponibilité exprimée sous forme d'un pourcentage de l'indisponibilité nominale	$Z_k\%$
Pourcentage de récepteurs du service fixe possibles respectant ou dépassant la disponibilité dégradée « $V_k = (100 - Z_0 - Z_k Z_0/100)\%$ » en présence de brouillage du SFS	$Y_k\%$
$k = 1, \dots, n$ ($n =$ à déterminer)	

W_j et Y_k seront associés à de hauts percentiles de récepteurs possibles respectivement pour des systèmes P-MP et des systèmes P-P de façon à minimiser les augmentations de l'indisponibilité X_j et Z_k associées aux pourcentages $(100 - W_j)$ et $(100 - Y_k)$ restant des récepteurs possibles.

Dans le Tableau 3 pour une augmentation des pourcentages possibles de récepteurs $W_{j+1} > W_j$ et $Y_{k+1} > Y_k$ les augmentations résultantes de l'indisponibilité se traduiront par $X_{j+1} > X_j$ et $Z_{k+1} > Z_k$.

Dans le présent modèle, on examine la disponibilité de systèmes du service fixe en présence de brouillages causés par des satellites OSG du service fixe dans un environnement dans lequel l'affaiblissement dû aux précipitations est le principal facteur qui limite la disponibilité des systèmes du service fixe.

On notera que dans le Tableau 3, dans le cas de systèmes P-MP, les systèmes peuvent être conçus avec des niveaux de disponibilité différents $(100 - X_0)\%$. En présence de brouillages du service fixe, la distribution statistique des augmentations du pourcentage de l'indisponibilité X_j associée au pourcentage W_j de récepteurs du service fixe affectés dépendra de la disponibilité nominale $(100 - X_0)\%$. Ainsi, le pourcentage W_j de récepteurs respectant ou dépassant la disponibilité dégradée U_j est fonction de la valeur de X_0 . Les valeurs de W_j sont des objectifs nominaux par rapport auxquels on peut comparer la qualité de fonctionnement sous réserve de procéder à une itération. Il faudrait se mettre d'accord sur le pourcentage W_j de récepteurs du service fixe qui respectent ou dépassent divers niveaux de disponibilité dégradée. Dans le cas d'un système P-P, pour des valeurs données de la disponibilité nominale $(100 - Z_0)\%$, les valeurs de Y_k associées à divers niveaux de disponibilité dégradée V_k sont déterminées de la même façon. La présente Recommandation ne donne pas de valeurs pour W , X , Y et Z , lesquelles doivent donc être fournies par l'utilisateur de la méthode comme critères de partage.
