

RECOMMANDATION UIT-R BO.1696

Méthodes de détermination de la qualité de fonctionnement en termes de disponibilité pour les systèmes multiprogrammes numériques du service de radiodiffusion par satellite et leurs liaisons de connexion associées fonctionnant dans les bandes planifiées

(Question UIT-R 3/6)

(2005)

Domaine de compétence

La présente Recommandation décrit des méthodes permettant de déterminer les objectifs en matière de qualité de fonctionnement pour les systèmes numériques fonctionnant dans la bande 11,7-12,7 GHz. Elle fixe des objectifs de disponibilité plus élevés dans le cas des systèmes numériques que pour les systèmes analogiques. Elle fournit dans son Annexe 1 des exemples de mise en œuvre des méthodes préconisées et propose des solutions de calcul exactes ou approchées.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les systèmes multiprogrammes numériques sont à présent utilisés par le service de radiodiffusion par satellite (SRS);
- b) que la qualité de fonctionnement des systèmes multiprogrammes numériques est importante pour les administrations qui mettent en œuvre de tels systèmes;
- c) que la qualité de fonctionnement en termes de disponibilité d'un système constitue un point de référence important pour évaluer la qualité de fonctionnement des assignations du SRS pour une administration, pourvu que ces assignations soient mises en œuvre pour des systèmes multiprogrammes numériques;
- d) que les caractéristiques de réception d'un système multiprogramme numérique sont très différentes de celles d'un système MF analogique;
- e) que l'objectif de qualité de fonctionnement existant inscrit dans les Appendices 30 et 30A du Règlement des radiocommunications et relatif au maintien d'un rapport C/N égal ou supérieur à 14 dB pendant 99% du mois le plus défavorable est fondé sur des transmissions MF analogiques;
- f) que, eu égard à ces considérations, il est souhaitable d'élaborer un objectif de qualité de fonctionnement en termes de disponibilité destiné spécifiquement aux systèmes multiprogrammes numériques;
- g) qu'une méthode permettant de déterminer la qualité de fonctionnement en termes de disponibilité pour les systèmes multiprogrammes numériques du SRS doit prendre en compte la grande diversité de seuils C/N intervenant pour le fonctionnement de ces divers systèmes;
- h) que l'élaboration d'un objectif de qualité de fonctionnement en termes de disponibilité pour les systèmes multiprogrammes numériques n'est pas utile uniquement dans la bande du SRS planifiée, mais également dans d'autres bandes du SRS (par exemple la bande 17/21 GHz),

considérant en outre

a) que l'on peut caractériser la qualité de fonctionnement des systèmes multiprogrammes numériques en évaluant la disponibilité du système au point de fonctionnement quasiment sans erreur (QEF, *quasi-error-free*)¹, qui correspond à la réception d'images de qualité élevée,

reconnaissant

a) que, bien que de nombreuses liaisons opérationnelles multiprogrammes numériques du SRS présentent une disponibilité de fonctionnement QEF supérieure à 99,5% au cours du mois le plus défavorable (ou d'environ 99,86% en moyenne annuelle dans la plupart des zones de pluie), la disponibilité requise est déterminée par des objectifs de qualité de fonctionnement propres au système considéré;

b) que la Recommandation UIT-R BO.1516 – Systèmes de télévision numérique multiprogramme utilisés par des satellites dans la gamme de fréquences 11/12 GHz – préconise, entre autres choses, que l'un des quatre systèmes de transmission décrits dans son Annexe 1 soit sélectionné au moment de mettre en œuvre des services de télévision numérique multiprogramme par satellite;

c) que la Recommandation UIT-R BO.1516 montre que les valeurs du rapport C/N au point QEF s'étalent sur une large gamme et que des compromis entre les principaux paramètres de la liaison numérique peuvent être faits pour respecter les objectifs de qualité de fonctionnement,

recommande

1 que les administrations devraient utiliser les méthodes décrites dans l'Annexe 1 à la présente Recommandation pour déterminer la qualité de fonctionnement en termes de disponibilité pour les systèmes multiprogrammes numériques du SRS et leurs liaisons de connexion associées fonctionnant dans les bandes planifiées;

2 à titre de lignes directrices, que des systèmes multiprogrammes numériques devraient fonctionner QEF pendant au moins $X\%$ du mois le plus défavorable;

3 que, lors de la mise en œuvre d'un système multiprogramme numérique, le rapport C/N soit maintenu à une valeur cible de $(C/N \text{ minimal} + Z)$ dB dans la zone de service ou dans la zone de couverture pendant au moins $X\%$ du mois le plus défavorable. A titre de lignes directrices, on peut prendre pour X la valeur par défaut 99,5%. Les valeurs minimales du rapport C/N sont définies dans le Tableau 1 (ainsi que dans le Tableau 2 de la Recommandation UIT-R BO.1516). Z est la marge de dégradation additionnelle².

¹ Par QEF, on entend généralement un TEB d'environ une erreur par heure ou par jour. Lorsqu'un système multiprogramme numérique fonctionne à un TEB égal ou supérieur au point QEF, la qualité d'image n'est plus fonction que du taux de compression vidéo et des algorithmes utilisés, et ne dépend pas du TEB dans le canal de transmission. Lorsque le TEB est inférieur au point QEF, la qualité vidéo dépend à la fois du taux de compression vidéo, des algorithmes utilisés et du TEB dans le canal.

² Z est la somme de Z_1 et de Z_2 . Dans le cas des Systèmes C et D du Tableau 1, une marge additionnelle Z_1 associée à la mise en œuvre des équipements et à la distorsion due au répéteur du satellite est nécessaire. A titre de lignes directrices, une valeur par défaut de 1,8-2,3 dB (suivant la modulation utilisée) pourra être choisie pour Z_1 . Z_2 est la marge de protection contre les brouillages causés par les satellites du SRS intra et interrégionaux, contre le bruit sur la liaison montante et contre les brouillages causés par d'autres sources. Sa valeur doit être déterminée au cas par cas, compte tenu de l'environnement opérationnel et du brouillage du système considéré.

TABLEAU 1

**Valeur minimale de C/N (dB) pour un fonctionnement QEF
(d'après le Tableau 2 de la Recommandation UIT-R BO.1516)**

Modulation et codage			Système A	Système B	Système C	Système D
Types de modulation possibles de façon individuelle, sur la même porteuse			MDP-4	MDP-4	MDP-4	MDP-8, MDP-4 et MDP-2
Rapport de qualité de fonctionnement C/N requis (dB)			C/N au point QEF ⁽¹⁾	C/N au point QEF ⁽²⁾	C/N au point QEF ⁽³⁾	C/N au point QEF ⁽⁴⁾
Modes	Code interne					
MDP-2	Conv.	1/2	Inutilisé	Inutilisé	Non	0,2
MDP-4	Conv.	5/11	Inutilisé	Inutilisé	2,8/3,0	Inutilisé
		1/2	4,1	3,8	3,3/3,5	3,2
		3/5	Non	Inutilisé	4,5/4,7	Inutilisé
		2/3	5,8	5	5,1/5,3	4,9
		3/4	6,8	Inutilisé	6,0/6,2	5,9
		4/5	Inutilisé	Inutilisé	6,6/6,8	Inutilisé
		5/6	7,8	Inutilisé	7,0/7,2	6,8
		6/7	Inutilisé	7,6	Inutilisé	Inutilisé
		7/8	8,4	Inutilisé	7,7/7,9	7,4
MDP-8	Treillis		Inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	8,4

- ⁽¹⁾ Pour un TEB $<10^{-10}$. Les valeurs C/N pour le Système A correspondent à des simulations sur ordinateur effectuées avec une chaîne à satellite fictive comprenant multiplexage d'entrée, ATOP et multiplexage de sortie, avec un amortissement de modulation de 0,35. Les valeurs de C/N reposent sur l'hypothèse d'un décodage de Viterbi à décision progressive au niveau du récepteur. Un rapport de largeur de bande sur débit de symboles de 1,28 a été adopté. Les valeurs de C/N tiennent compte d'une dégradation calculée de 0,2 dB due aux limitations de largeur de bande au niveau des filtres de multiplexage d'entrée et de sortie, d'une distorsion non linéaire de 0,8 dB au niveau de l'amplificateur à tube à ondes progressives (ATOP) à saturation et d'une dégradation de 0,8 dB au niveau du modem. Les chiffres correspondent à un TEB de 2×10^{-4} avant codage RS (204,188), ce qui donne un fonctionnement QEF en sortie de codeur RS. La dégradation due aux brouillages n'est pas prise en compte.
- ⁽²⁾ Pour un TEB de 1×10^{-12} .
- ⁽³⁾ MDP-4 théorique (2 bits par symbole) E_S/N_0 , c'est-à-dire, le rapport C/N mesuré dans la largeur de bande de Nyquist (moitié du débit binaire exprimé en bauds) pour la mise en forme du spectre normal ou tronqué, respectivement. La marge de mise en œuvre des équipements ou la marge de pertes du répéteur de satellite ne sont pas prises en compte. Les deux valeurs indiquées pour le Système C correspondent respectivement à la mise en forme du spectre normal ou tronqué.
- ⁽⁴⁾ Ces valeurs ont été établies à partir de simulations informatiques et sont considérées comme des valeurs théoriques. Elles correspondent à un TEB de 2×10^{-4} avant codage RS (204,188), en utilisant la largeur de bande de Nyquist. La marge de mise en œuvre des équipements ou la marge de pertes du répéteur de satellite ne sont pas prises en compte.

Annexe 1

Méthodes de détermination de la qualité de fonctionnement en termes de disponibilité pour les systèmes multiprogrammes numériques du SRS et leurs liaisons de connexion associées fonctionnant dans les bandes planifiées

1 Introduction

1.1 Observations générales

Les systèmes de transmission de multiprogrammes numérique sont à présent largement utilisés dans le SRS, ce qui a été reconnu par l'UIT-R dans plusieurs domaines. En particulier, certains des paramètres utilisés pour replanifier le Plan du SRS dans les Régions 1 et 3 reflètent la mise en œuvre de ces systèmes. Un paramètre système n'a pas été défini de façon appropriée pour les transmissions multiprogrammes numériques: il s'agit de la qualité de fonctionnement en termes de disponibilité du système, compte tenu des statistiques d'évanouissement de la propagation sur la liaison de connexion et la liaison descendante et des caractéristiques numériques propres au système numérique considéré (environnement de brouillage par exemple). Alors que des systèmes de transmission multiprogrammes numériques continuent à être mis en œuvre et étudiés, on trouvera dans la présente Annexe les méthodes préconisées pour calculer les seuils de qualité de fonctionnement en termes de disponibilité associés aux systèmes numériques et aux modèles de propagation actuels.

1.2 Caractéristiques spécifiques des systèmes multiprogrammes numériques du SRS

On peut caractériser la qualité de fonctionnement d'un système numérique exploité dans le SRS en considérant deux seuils de modulation numérique. Le premier, parfois appelé seuil de fonctionnement QEF, est caractérisé par un TEB d'environ une erreur par heure ou par jour (TEB de 10^{-9} à 10^{-12}). Le second, parfois appelé point d'«image fixe», ou point de perte de la continuité des images vidéo, est atteint lorsque le TEB est trop élevé pour que le décodeur de compression vidéo puisse former une image. Ce point est généralement très proche du point de déverrouillage complet entre la porteuse du démodulateur et les boucles de poursuite du rythme binaire.

Au-dessus du point QEF, la qualité d'image numérique reste généralement constante pour toutes les valeurs du rapport C/N . En fait, le niveau de qualité vidéo dans cette région est indépendant du rapport C/N de la liaison; il dépend uniquement de la qualité et du taux de compression du codeur de compression vidéo utilisé, ainsi que du taux d'informations binaires assigné au canal vidéo.

La qualité vidéo se dégrade rapidement lorsque l'on passe du point QEF au point d'image fixe, en raison de l'accroissement exponentiel du nombre d'erreurs binaires parvenant au décodeur vidéo, que celui-ci n'est plus en mesure de corriger au moyen du processus de correction d'erreur directe concaténée. A partir d'un certain seuil de verrouillage du processus de correction d'erreur, la transmission du flux vidéo s'arrête brusquement, ce qui se traduit par un affichage fixe de l'image vidéo la plus récemment décodée.

Conformément à la Note 2 du point 1.2 du *recommande* de la Recommandation UIT-R BO.1444, on suppose que la différence en termes de rapport C/N entre le point d'image fixe et le point QEF est égale à 1,5 dB, sauf spécification contraire d'une administration. Dans la présente Recommandation, le seuil de disponibilité est calculé au point QEF.

2 Description des méthodes préconisées

2.1 Introduction de paramètres pertinents

La qualité de fonctionnement d'une liaison numérique du SRS dépend des caractéristiques techniques de conception de la liaison, notamment du choix des méthodes de codage numérique, de multiplexage et de modulation, du choix de la p.i.r.e. du satellite et du choix du facteur de qualité (G/T) du récepteur du SRS. Parmi les autres paramètres ayant une incidence sur la disponibilité du système, on citera l'affaiblissement de propagation, la dépolarisation due à la pluie, la désadaptation de polarisation, le dépointage de l'antenne de réception, la commande de puissance sur la liaison montante (UPC, *uplink power control*) de connexion, la commande automatique de gain (CAG) à bord du satellite et les brouillages dus aux systèmes du SRS voisins.

Le Tableau 2 contient la liste des Recommandations de l'UIT-R utilisées dans les paragraphes suivants. Les techniques mentionnées dans la Recommandation UIT-R BO.794 pour minimiser l'effet de l'affaiblissement dû à la pluie sur la liaison de connexion sont étudiées, en particulier la commande UPC et la commande CAG embarquée: la commande UPC permet de maintenir un certain niveau de puissance sur la liaison de connexion vers le satellite en présence d'un affaiblissement de propagation, tandis que la commande CAG embarquée maintient la puissance totale reçue à bord du satellite à un niveau tel que l'amplificateur de puissance fonctionne à un niveau constant, de telle sorte que le niveau de p.i.r.e. du satellite sur la liaison descendante reste constant quelles que soient les conditions de transmission dans le canal de la liaison montante. Etant donné que l'on suppose généralement que les signaux brouilleurs sur la liaison montante ne subissent pas d'évanouissement en même temps que les données utiles de la liaison, l'utilisation d'une commande CAG embarquée se traduit par un accroissement de la puissance du signal brouilleur sur la liaison montante, ce qui diminue la valeur du rapport C/I associé. La diversité d'emplacement, étudiée par ailleurs dans la Recommandation UIT-R BO.794, fait l'objet d'un examen détaillé dans la Recommandation UIT-R P.618 qui précise la façon de passer de la disponibilité associée à une seule liaison à la disponibilité associée à une diversité d'emplacement; si elle est possible, cette conversion peut être appliquée aux résultats obtenus grâce à la méthode présentée ci-dessous.

2.2 Qualité de fonctionnement du système

La qualité de fonctionnement globale du système est déterminée par la valeur globale cumulative du rapport de puissance porteuse sur bruit plus brouillage $C/(N + I)$, défini par:

$$C/(N + I) = C/(N + I)_u \oplus C/(N + I)_d \quad \text{dB} \quad (1)$$

où:

$$C/(N + I)_u = C/N_u \oplus C/I_u \quad \text{dB} \quad (1a)$$

$$C/(N + I)_d = C/N_d \oplus C/I_d \quad \text{dB} \quad (1b)$$

et

C/N_u : rapport de la puissance de la porteuse sur la puissance de bruit thermal sur la liaison montante (dB)

C/I_u : rapport de la puissance de la porteuse sur la puissance de brouillage sur la liaison montante (dB)

C/N_d : rapport de la puissance de la porteuse sur la puissance de bruit thermal sur la liaison descendante (dB)

C/I_d : rapport de la puissance de la porteuse sur la puissance de brouillage sur la liaison descendante (dB)

Opérateur \oplus : $A \oplus B = -10 \log (10^{-A/10} + 10^{-B/10})$

TABLEAU 2
Recommandations UIT-R pertinentes

Recommandation UIT-R	Titre	Domaine d'application
P.618	Données de propagation et méthodes de prévision nécessaires pour la conception de systèmes de télécommunication Terre-espace	Affaiblissement de propagation
P.676	Affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère	
P.837	Caractéristiques des précipitations pour la modélisation de la propagation	
P.839	Modèle d'altitude de pluie pour les méthodes de prévision	
P.840	Affaiblissement dû aux nuages et au brouillard	
P.841	Conversion des statistiques annuelles en statistiques pour le mois le plus défavorable	
P.838	Modèle d'affaiblissement linéique dû à la pluie destiné aux méthodes de prévision	
P.1511	Topographie pour la modélisation de la propagation Terre-espace	
P.453	Indice de réfraction radioélectrique: formules et données de réfractivité	
P.835	Atmosphère de référence pour l'affaiblissement dû aux gaz	
P.679	Données de propagation nécessaires pour la conception des systèmes de radiodiffusion par satellite	
BO.790	Caractéristiques des équipements de réception et calcul du facteur de qualité (G/T) des récepteurs pour le service de radiodiffusion par satellite	Calcul du facteur de qualité des récepteurs (G/T)
BO.793	Répartition de bruit entre les liaisons de connexion du service de radiodiffusion par satellite (SRS) et les liaisons descendantes du SRS	Répartition de bruit
BO.794	Techniques visant à réduire l'effet que produit la pluie le long du trajet de la liaison de connexion sur la qualité globale des systèmes du SRS	Techniques visant à réduire l'affaiblissement dû à la pluie
BO.1212	Calcul du brouillage total entre réseaux à satellites géostationnaires dans le service de radiodiffusion par satellite	Calcul de C/I
BO.1516	Systèmes de télévision numérique multiprogramme utilisés par des satellites dans la gamme de fréquences 11/12 GHz	Paramètres de modulation et de codage

2.2.1 Calcul de C/N_u

Le rapport de la puissance de la porteuse sur la puissance de bruit thermal sur la liaison montante est donné par:

$$C/N_u = EIRP_u - L_{su} - A_{pu}(p_u) + UPC(p_u) - BW_{effu} - k + G/T_s \quad \text{dB} \quad (2)$$

où:

$EIRP_u$: puissance isotrope rayonnée équivalente sur la liaison montante (dBW) par ciel clair

L_{su} : affaiblissement en espace libre sur la liaison montante (dB), donnée par:

$$20 \log (4\pi R_u / \lambda_u)$$

où:

R_u : distance (m) entre la station de liaisons de connexion et le satellite

λ_u : longueur d'onde sur la liaison montante (m)

$A_{pu}(p_u)$: affaiblissement de propagation total sur la liaison montante (dB) dépassé pendant $p_u\%$ du temps; il est défini comme suit au § 2.5 de la Recommandation UIT-R P.618

$$= A_{gu} + A_u(p_u)$$

où:

A_{gu} : absorption due aux gaz sur la liaison montante (dB)
(Recommandation UIT-R P.676)

$$A_u(p_u) = \sqrt{(A_{ru}(p_u) + A_{cu}(p_u))^2 + A_{su}^2(p_u)}$$

$A_{ru}(p_u)$: affaiblissement dû à la pluie sur la liaison montante (dB) dépassé pendant $p_u\%$ du temps (Recommandation UIT-R P.618)

$A_{cu}(p_u)$: affaiblissement dû aux nuages et au brouillard sur la liaison montante (dB) dépassé pendant $p_u\%$ du temps

$A_{su}(p_u)$: affaiblissement dû à la scintillation sur la liaison montante (dB) dépassé pendant $p_u\%$ du temps

P_u : temps de dépassement de seuil ou d'indisponibilité sur la liaison montante (%)

$UPC(p_u)$: commande de puissance sur la liaison montante (dB), calculée comme suit:

= 0 par ciel clair ou lorsque la commande de puissance sur la liaison montante n'est pas utilisée

= $\min(A_u(p_u), UPC_{max}) - \epsilon$ en présence d'affaiblissement

où:

UPC_{max} : accroissement maximal de la puissance transmise (dB) en présence d'un affaiblissement de propagation sur le trajet

ϵ : valeur positive crête de l'erreur de commande de puissance sur la liaison montante (dB)

BW_{effu} : valeur effective de la largeur de bande de bruit sur la liaison montante (dB/Hz) pour la porteuse numérique

k : constante de Boltzmann, $-228,6$ (dB(W/K · Hz))

G/T_s : facteur de qualité du récepteur du satellite (dB/K).

2.2.2 Calcul de C/N_d

Grâce à l'utilisation d'une commande CAG embarquée ou d'une commande UPC, les systèmes du SRS sont conçus de telle sorte que le répéteur du satellite fonctionne à un niveau constant jusqu'à ce que la valeur de $C/(N + I)$ sur la liaison montante devienne inférieure à un certain seuil et provoque une interruption de fonctionnement du système indépendante des conditions dans le canal de la liaison descendante. Par conséquent, la p.i.r.e. du satellite est maintenue à un niveau constant et la qualité de fonctionnement en termes de disponibilité sur la liaison descendante est, dans tous les cas, découplée de la qualité de fonctionnement sur la liaison montante. Dans ces conditions, le rapport de la puissance de la porteuse sur la puissance de bruit thermique sur la liaison descendante est donné par:

$$C/N_d = EIRP_d - L_{sd} - A_{pd}(p_d) - BW_{effd} - k + G/T_g - Z_1 - dT(p_d) \quad \text{dB} \quad (3)$$

où:

$EIRP_d$: puissance isotrope rayonnée équivalente sur la liaison descendante (dBW)

L_{sd} : affaiblissement en espace libre sur la liaison descendante (dB), calculée comme suit:

$$= 20 \log(4\pi R_d/\lambda_d)$$

où:

R_d : distance (m) entre le satellite et le terminal de réception

λ_d : longueur d'onde sur la liaison descendante (m)

$A_{pd}(p_d)$: affaiblissement de propagation total sur la liaison descendante (dB) dépassé pendant $p_d\%$ du temps; il est défini comme suit au § 2.5 de la Recommandation UIT-R P.618

$$= A_{gd} + A_d(p_d)$$

où:

A_{gd} : absorption dû aux gaz sur la liaison descendante (dB) (Recommandation UIT-R P.676)

$$A_d(p_d) = \sqrt{(A_{rd}(p_d) + A_{cd}(p_d))^2 + A_{sd}^2(p_d)}$$

$A_{rd}(p_d)$: affaiblissement dû à la pluie sur la liaison descendante (dB) dépassé pendant $p_d\%$ du temps (Recommandation UIT-R P.618)

$A_{cd}(p_d)$: affaiblissement dû aux nuages et au brouillard sur la liaison descendante (dB) dépassé pendant $p_d\%$ du temps

$A_{sd}(p_d)$: affaiblissement dû à la scintillation sur la liaison descendante (dB) dépassé pendant $p_d\%$ du temps

P_d : temps de dépassement de seuil ou d'indisponibilité sur la liaison descendante (%)

BW_{effd} : valeur effective de la largeur de bande de bruit sur la liaison descendante (dB/Hz) pour la porteuse numérique; elle est égale à BW_{effu} dans le cas d'un satellite à répéteur «à guide d'ondes coudé»

G/T_g : facteur de qualité utilisable au niveau du terminal de réception (dB/K) par ciel clair, c'est-à-dire en tenant compte uniquement de l'absorption dû aux gaz (§ 1 de l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R BO.790 – sans affaiblissement dû à la pluie ou aux nuages)

Z_1 : facteur d'ajustement (dB) relatif à la distorsion due au répéteur du satellite

$dT(p_d)$: accroissement de la température de bruit (dB/K), provoqué par l'affaiblissement sur le trajet dû à la pluie et aux nuages, dépassé pendant $p_d\%$ du temps (par exemple, différence de valeurs de G/T en appliquant les prescriptions du § 1 de l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R BO.790, lorsque:

1. l'affaiblissement sur le trajet est donné par $A_{gd} + A_{rd} + A_{cd}$,
2. l'affaiblissement sur le trajet se réduit à A_{gd} .

2.2.3 Calcul global de C/I

Le rapport global cumulatif de la puissance de la porteuse sur la puissance de brouillage est donné par:

$$C/I = C/I_u \oplus C/I_d \quad \text{dB} \quad (4)$$

où:

- C/I_u : rapport de la puissance de la porteuse sur la puissance de brouillage sur la liaison montante (dB)
- C/I_d : rapport de la puissance de la porteuse sur la puissance de brouillage sur la liaison descendante (dB).

La Recommandation UIT-R BO.1212 est utilisée pour calculer les valeurs de C/I sur les liaisons montante et descendante par ciel clair en tenant compte des brouillages intrasystème et intersystème du SRS. En cas d'évanouissement dans le canal, on suppose que les signaux brouilleurs intersystème ne subissent pas d'évanouissement. Si l'on utilise une commande UPC et/ou une commande CAG embarquée, les valeurs de C/I (sur les liaisons montante et descendante) intersystème en présence d'évanouissement sont équivalentes aux valeurs par ciel clair diminuées d'une quantité égale au niveau d'évanouissement dans le canal, c'est-à-dire:

$$C/I_u = [C/I_{cu} - A_u(p_u) + UPC(p_u)] \oplus C/I_{intra}^u(p_u) \quad \text{dB} \quad (4a)$$

$$C/I_d = [C/I_{cd} - A_d(p_d)] \oplus C/I_{intra}^d(p_d) \quad \text{dB} \quad (4b)$$

où:

- C/I_{cu} : valeur C/I intersystème sur la liaison montante par ciel clair (dB), conformément à la Recommandation UIT-R BO.1212 lorsque l'on considère uniquement l'absorption due aux gaz de l'atmosphère (Recommandation UIT-R P.676) pour les liaisons brouillées et les liaisons utiles, sans prise en compte d'une commande UPC
- C/I_{cd} : valeur C/I intersystème sur la liaison descendante par ciel clair (dB), conformément à la Recommandation UIT-R BO.1212 lorsque l'on considère uniquement l'absorption due aux gaz de l'atmosphère (Recommandation UIT-R P.676) pour les liaisons brouillées et les liaisons utiles
- $C/I_{intra} = C/I_{intra}^u(p_u) \oplus C/I_{intra}^d(p_d) \quad \text{dB}$
- C/I_{intra} : valeur globale cumulative du rapport de la puissance de la porteuse sur la puissance de brouillage intrasystème (dB)
- $C/I_{intra}^u(p_u)$: rapport de la puissance de la porteuse sur la puissance de brouillage intrasystème sur la liaison montante (dB), conformément aux Recommandations UIT-R BO.1212 et UIT-R P.618 dans le cas d'une dépolarisation due à la pluie.
- $C/I_{intra}^d(p_d)$: rapport de la puissance de la porteuse sur la puissance de brouillage intrasystème sur la liaison descendante (dB), conformément aux Recommandations UIT-R BO.1212 et UIT-R P.618 dans le cas d'une dépolarisation due à la pluie.

2.3 Disponibilité globale du système

La disponibilité globale du système définit la possibilité pour un système de maintenir la valeur de son rapport global cumulatif $C/(N+I)$ au-dessus d'un certain seuil au cours du temps. L'affaiblissement de propagation de trajet sur les liaisons détermine cette qualité de fonctionnement de disponibilité au cours du temps.

Etant donné que l'utilisation d'une commande UPC et/ou d'une commande CAG embarquée permet de maintenir la p.i.r.e. du satellite à un niveau constant indépendamment de l'affaiblissement sur la liaison de connexion, on observe un découplage entre la valeur $C/(N+I)$ sur la liaison montante et la valeur $C/(N+I)$ sur la liaison descendante. En définissant:

$$\left(\frac{n+i}{c}\right) = 10^{-0,1C/(N+I)}; \quad \left(\frac{n+i}{c}\right)_u = 10^{-0,1C/(N+I)_u}; \quad \left(\frac{n+i}{c}\right)_d = 10^{-0,1C/(N+I)_d}$$

de telle sorte que $\left(\frac{n+i}{c}\right) = \left(\frac{n+i}{c}\right)_u + \left(\frac{n+i}{c}\right)_d$

et étant donné que l'on peut faire l'hypothèse d'une décorrélation entre l'évanouissement de trajet sur la liaison de connexion et l'évanouissement de trajet sur la liaison de service, la grandeur globale cumulative $\left(\frac{n+i}{c}\right)$ devient une fonction de deux variables aléatoires indépendantes. Sa fonction de densité de probabilité FDP (et donc celle de $C/(N+I)$) est par conséquent donnée par le produit de convolution entre la fonction FDP de $\left(\frac{n+i}{c}\right)_u$ sur la liaison montante et la fonction FDP de $\left(\frac{n+i}{c}\right)_d$ sur la liaison descendante.

On peut utiliser des approximations pour obtenir une limite supérieure et une limite inférieure de la disponibilité globale du système, ce qui évite les calculs relativement complexes nécessaires à l'obtention de la solution exacte. Ces méthodes sont décrites dans les paragraphes suivants.

La probabilité de disponibilité annuelle calculée ci-après peut être convertie en une disponibilité au cours du mois le plus défavorable en utilisant la méthode de conversion décrite dans la Recommandation UIT-R P.841, en considérant le climat annuel moyen dans le monde (à des fins de planification) ou d'autres climats.

2.3.1 Pourcentage de dépassement en fonction du niveau d'évanouissement

Pour les calculs intervenant dans les paragraphes suivants, il est nécessaire de connaître la probabilité de dépassement en fonction du niveau d'évanouissement. La Recommandation UIT-R P.618 ne fournit pas de méthode directe à cet effet. Deux méthodes sont présentées ci-après.

Le pourcentage de dépassement pour un niveau d'évanouissement donné peut être obtenu directement à partir de la courbe d'affaiblissement associée à la liaison du SRS considérée. En prenant l'exemple de la liaison du SRS définie au Tableau 3, l'affaiblissement total de propagation sur la liaison descendante $A_{pd}(p_d)$ est représenté sur la Fig. 1 en fonction de la probabilité de dépassement annuel p_d , calculé conformément à la Recommandation UIT-R P.618. Cette courbe montre par exemple qu'un affaiblissement total de propagation de 3 dB sur la liaison descendante correspond à un dépassement d'environ 0,025%, ou à une disponibilité de 99,975%. Dans le cadre d'une mise en œuvre informatique, les données correspondant aux points de la courbe peuvent être recensées dans un tableau et lorsque le niveau d'affaiblissement de propagation est situé entre deux points, une technique d'interpolation peut être utilisée pour évaluer la probabilité de dépassement associée.

Une méthode alternative à la représentation ou à la tabulation de courbes d'affaiblissement consiste à élaborer un programme informatique destiné à:

- calculer le niveau d'évanouissement de propagation pour un pourcentage de temps de dépassement donné conformément à la Recommandation UIT-R P.618; et
- procéder à l'itération de différentes valeurs de pourcentage de temps de dépassement jusqu'à obtention de la valeur d'évanouissement souhaitée. Cette méthode est utilisée pour générer les résultats de l'exemple du § 3.

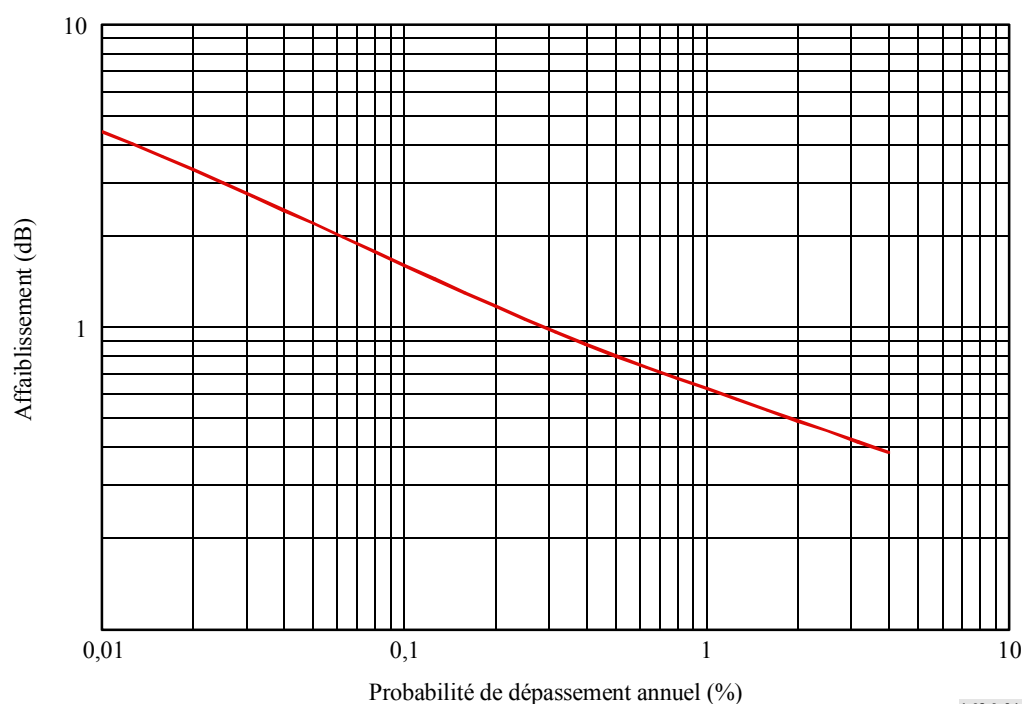
Il convient de noter qu'une fois obtenue la relation entre le pourcentage de temps de dépassement et le niveau d'affaiblissement, les équations (1) à (4) peuvent être utilisées pour déterminer une relation correspondante entre $C/(N + I)_u$ (ou $C/(N + I)_d$) et le pourcentage de temps de dépassement.

TABLEAU 3
Exemple de système

Fréquence sur la liaison descendante (GHz)	12
Polarisation	Circulaire
Angle d'élévation (degrés)	30
Latitude du terminal (° N)	50
Longitude du terminal (° W)	10
Hauteur au-dessus du niveau moyen de la mer (km)	0 (pour les calculs, voir la Recommandation UIT-R P.1511)
Diamètre de l'antenne du terminal (cm)	60
Rendement de l'antenne du terminal (%)	70
Saison	Climat annuel moyen dans le monde

FIGURE 1

Exemple de courbe d'affaiblissement de propagation sur une liaison



2.3.2 Calcul exact de la disponibilité du système

Pour déterminer précisément la disponibilité globale P_s du système, il est nécessaire de déterminer les fonctions FDP associées à $\left(\frac{n+i}{c}\right)_u$ et à $\left(\frac{n+i}{c}\right)_d$, et de convoluer ces deux fonctions pour obtenir la fonction FDP associée au rapport global cumulatif $\left(\frac{n+i}{c}\right)$. Les équations (1) à (4) sont utilisées pour déterminer la relation entre le pourcentage de temps de dépassement (ou d'indisponibilité, p_u et p_d) et la grandeur associée $\left(\frac{n+i}{c}\right)$ sur la liaison montante ou descendante. Ces relations correspondent aux fonctions de distribution cumulative (FDC) des grandeurs $\left(\frac{n+i}{c}\right)$ sur les liaisons montante et descendante. En dérivant ces fonctions, nous obtenons les fonctions FDP requises. Après avoir procédé à la convolution de ces deux fonctions FDP, nous obtenons une valeur FDP globale qui, après intégration, donne la FDC de la grandeur globale cumulative $\left(\frac{n+i}{c}\right)$, qui peut ensuite facilement être transformée en une disponibilité de système associé à un seuil $C/(N+I)$ donné.

Le § 1 de l'Appendice 1 de la présente Annexe donne un exemple de mise en œuvre informatique de ces calculs. De nombreuses autres méthodes aboutissant aux mêmes résultats peuvent bien sûr être élaborées.

2.3.3 Calcul approché de la disponibilité du système

2.3.3.1 Limite supérieure

On peut déterminer une limite supérieure de la disponibilité globale P_s du système en supposant qu'une interruption se produit lorsque la valeur de $C/(N+I)$ sur la liaison montante *ou* sur la liaison descendante devient inférieure au seuil défini par le point QEF respectif, ce seuil étant défini comme le point pour lequel une interruption se produit à condition que l'autre liaison ne subisse pas d'évanouissement dû à la pluie. Dans ce cas, la disponibilité du système ($P_s = 100 - p_s$) se calcule à partir de:

$$p_s = p'_u + p'_d - \frac{p'_u p'_d}{100} \quad (5)$$

où:

p_s : indisponibilité globale du système (%)

p'_u : dépassement ou indisponibilité sur la liaison montante: probabilité (%) que la valeur $C/(N+I)$ sur la liaison montante soit inférieure au seuil QEF sur la liaison montante

p'_d : dépassement ou indisponibilité sur la liaison descendante: probabilité (%) que la valeur $C/(N+I)$ sur la liaison descendante soit inférieure au seuil QEF sur la liaison descendante.

La détermination de la disponibilité du système, lorsque seulement une des liaisons subit un affaiblissement dû à la pluie, est un processus complexe car il faut prendre en compte l'incidence en termes de disponibilité de l'évanouissement dû aux nuages et à la scintillation subi sur la totalité de la liaison. Concernant la liaison de connexion, on peut supposer que la marge de protection contre la pluie sur la liaison montante assurera une protection contre l'évanouissement dû aux nuages et à la scintillation en période non pluvieuse. En outre, en cas de pluie sur la liaison montante, ce type d'évanouissement contribue de façon limitée à l'évanouissement total de propagation sur le trajet et peut donc être négligé sur la liaison de connexion. En revanche, étant donné que les liaisons descendantes du SRS présentent des marges de protection moins grandes, il convient donc de considérer l'évanouissement dû aux nuages et à la scintillation. Par conséquent, une méthode itérative est requise pour déterminer la disponibilité globale du système et l'incidence de certains paramètres (telles que l'évanouissement dû aux nuages et à la scintillation, ou l'accroissement de la température de bruit au niveau du récepteur) sur la disponibilité du système. Une telle méthode est décrite dans les Appendices 1 et 2 à la présente Annexe.

2.3.3.2 Valeur approchée de la limite inférieure

Les systèmes classiques du SRS sont généralement conçus de telle sorte que la valeur $C/(N + I)_u$ par ciel clair soit généralement bien supérieure à la valeur de la grandeur correspondante sur la liaison descendante. Même si un affaiblissement de propagation élevé existe sur la liaison montante, il est possible de maintenir la valeur de $C/(N + I)_u$ bien au-dessus du seuil QEF en mettant en œuvre des techniques de réduction des évanouissements sur la liaison montante (commande UPC et/ou la diversité d'emplacement par exemple). Ainsi, dans l'hypothèse d'une valeur constante minimale de $C/(N + I)_u$ bien supérieure au seuil QEF et si l'effet de p'_u peut être négligé, l'indisponibilité globale du système p_s est directement déterminée à partir du dépassement ou de l'indisponibilité ($p_s = p'_d$) sur la liaison descendante, compte tenu de la valeur constante de $C/(N + I)_u$.

3 Exemple

On considère un système fictif afin de comparer les résultats de qualité de fonctionnement en termes de disponibilité obtenus en utilisant chacune des deux méthodes présentées au § 2.3.

Les spécifications de ce système sont décrites dans le Tableau 4. Dans cet exemple, on utilise une valeur constante globale cumulative du rapport intra-système porteuse sur brouillage, C/I_{intra} . Les résultats du calcul de la qualité de fonctionnement en termes de disponibilité sont présentés dans le Tableau 5, pour les méthodes exacte et approchée mises en œuvre conformément à l'Appendice 1. Sur la Fig. 2, on représente les fonctions de distribution cumulative de dépassement sur les liaisons montante et descendante en fonction de $C/(N + I)$, en négligeant la contribution C/I_{intra} . La FDC pour la variable globale cumulative $C/(N + I)$ est représentée sur la Fig. 3.

TABLEAU 4
Spécifications du système

Polarisation	Circulaire
Longitude du satellite (° E)	-130
p.i.r.e. du satellite sur la liaison descendante par ciel clair (dBW)	50
Facteur de qualité du récepteur du satellite G/T (dB/K)	4
Fréquence sur la liaison montante (GHz)	17,3
Fréquence sur la liaison descendante (GHz)	12,2
Facteur d'ajustement Z_1 relatif à la distorsion due au répéteur du satellite (dB)	0
Valeur efficace de la largeur de bande de bruit sur la liaison montante pour la porteuse numérique (MHz)	24
Valeur efficace de la largeur de bande de bruit sur la liaison descendante de la porteuse numérique (MHz)	24
Seuil QEF $C/(N + I)$ (dB)	7,6
Latitude (° N), longitude (° E) de la station de liaisons de connexion	50, -90
Commande de puissance sur la liaison montante: UPC_{max} (dB) ϵ (dB)	3 0,25
p.i.r.e. de la station de liaisons de connexion sur la liaison montante par ciel clair (dBW)	80
Taille de l'antenne de la station de liaisons de connexion (m)	7
Rendement de l'antenne de la station de connexion (%)	65
Latitude (° N)/longitude (° E) du terminal	60, -110
Facteur de qualité G/T (dB/K) du terminal - calcul effectué sur la base de la Recommandation UIT-R BO.790	12,5
Grandeurs calculées sur la base de la Recommandation UIT-R BO.790: θ_1 , θ_2 , θ_3 (degrés)	0,4, 0,01, 0,05
Grandeur calculée sur la base de la Recommandation UIT-R BO.790: température de bruit d'antenne par ciel clair (K)	50
Grandeur calculée sur la base de la Recommandation UIT-R BO.790: affaiblissement total de couplage α	1
Grandeur calculée sur la base de la Recommandation UIT-R BO.790: largeur de bande à 3 dB de l'antenne de réception (degrés)	3,8
Recommandation UIT-R BO.790: facteur de bruit du récepteur par ciel clair (dB)	0,91
Diamètre de l'antenne du terminal (cm)	45
Rendement de l'antenne du terminal (%)	70
C/I intersystème (C/I_{cd}) par ciel clair sur la liaison descendante (dB)	21
C/I intersystème (C/I_{cu}) par ciel clair sur la liaison montante (dB)	25
Valeur totale cumulative de C/I intra-système (C/I_{intra}) (dB)	18
Saison (par exemple, le climat annuel moyen dans le monde)	Climat annuel moyen dans le monde

TABLEAU 5
Calcul de la qualité de fonctionnement en termes de disponibilité

Calcul approché de la disponibilité du système	
Dépassement sur la liaison montante p'_u (%)	0,001
Dépassement sur la liaison descendante p'_d (%)	0,2
Moyenne sur l'année P_s (%) de la disponibilité du système	99,79
Calcul exact de la disponibilité du système	
Moyenne sur l'année P_s (%) de la disponibilité du système	99,774

FIGURE 2
Dépassement (FDC) sur les liaisons montante et descendante

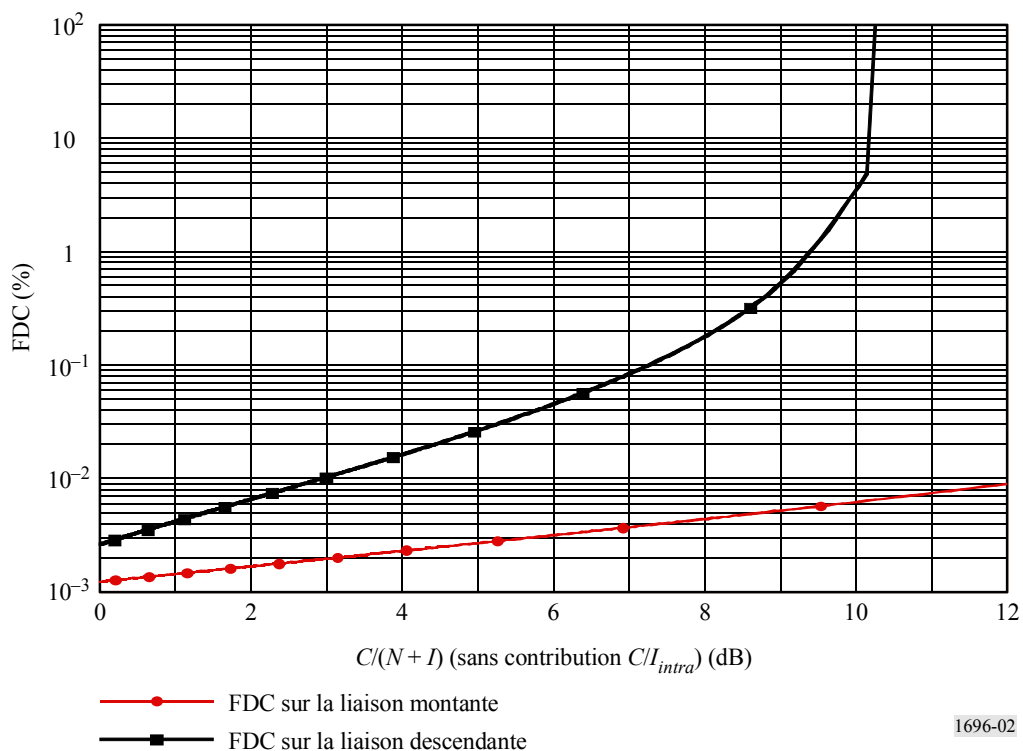
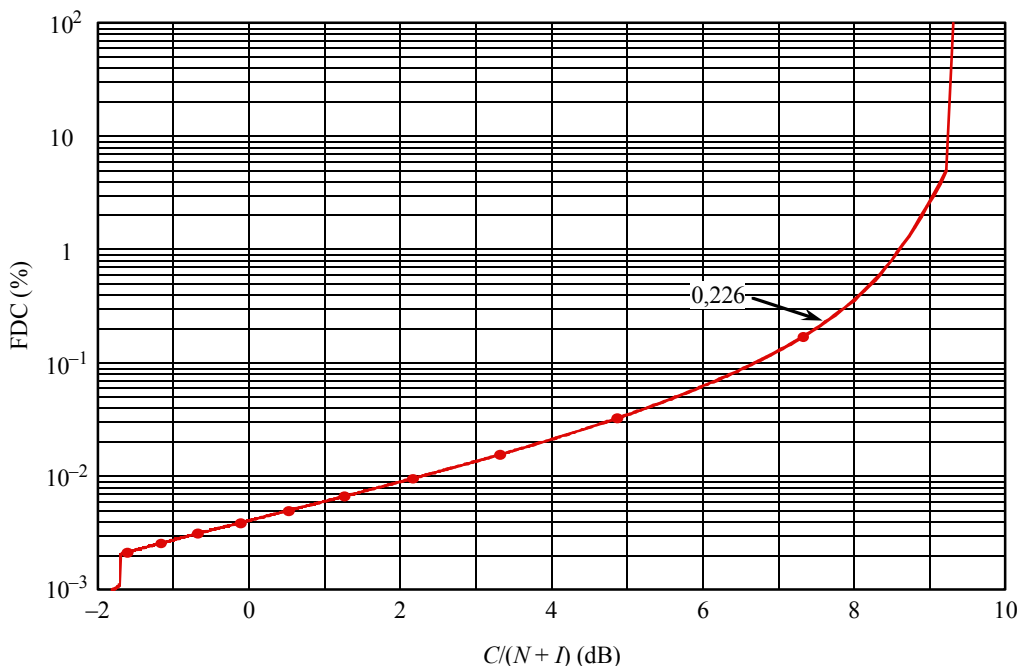


FIGURE 3
FDC globale cumulative



1696-03

Appendice 1 à l'Annexe 1

Exemple de mise en œuvre des méthodes préconisées

Les méthodes proposées et décrites aux § 2.3.2 et 2.3.3 de l'Annexe 1 peuvent être mises en œuvre de diverses manières. On décrit dans les paragraphes suivants une mise en œuvre possible de chacune de ces méthodes.

1 Calcul exact de la disponibilité du système

L'algorithme indiqué ci-après correspond à une mise en œuvre possible de la méthode de détermination exacte de la disponibilité globale du système P_s décrite au § 2.3.2.

Il convient de noter que les modèles de propagation de la Recommandation UIT-R P.618-8 relatifs aux évanouissements dus aux nuages, à la pluie et à la scintillation ne sont valables que sur une gamme combinée de dépassement (p_u ou p_d) compris entre 0,01% et 5%, la limite inférieure étant imposée par le modèle d'évanouissement dû à la scintillation. Dans la procédure suivante, cette limite inférieure est abaissée à 0,001%, en faisant l'hypothèse que l'évanouissement dû à la scintillation pour un dépassement de 0,01% reste constant aux pourcentages inférieurs.

Etape 1: Poser $p_u = p_d = 0,001\%$ et calculer les valeurs $C/(N+I)_u$ et $C/(N+I)_d$ respectivement associées en utilisant les équations (1a), (1b), (2), (3), (4a) et (4b). Ces valeurs seront désignées par $Y_u = C/(N+I)_u$ et $Y_d = C/(N+I)_d$ et correspondent à la valeur $C/(N+I)$ minimale à considérer sur chaque liaison.

Etape 2: Poser $p_u = p_d = 5\%$ et calculer les valeurs respectivement associées en utilisant les mêmes équations qu'à l'Etape 1. Ces valeurs seront désignées par $X_u = C/(N + I)_u$ et $X_d = C/(N + I)_d$ et correspondent à la valeur $C/(N + I)$ maximale à considérer sur chaque liaison.

Etape 3: Poser $X = \max(X_u, X_d)$ et $Y = \min(Y_u, Y_d)$.

Etape 4: Définir le nombre de points, M , à considérer sur les fonctions FDP associées aux liaisons montante et descendante. M devrait être choisie de telle sorte à obtenir la résolution voulue sur la courbe FDP finale. A titre de lignes directrices, une valeur $M > \text{round}[(X-Y)/0,1]$ devrait être suffisante, où $\text{round}(x)$ est l'entier immédiatement supérieur à x .

Etape 5: Définir M valeurs équidistantes dans l'intervalle $[10^{-X/10} - dw, 10^{-Y/10}]$ et les désigner par $w(n)$, de telle sorte que pour $n = M - j + 1$, l'on ait: $w(M - j + 1) = 10^{-Y/10} - (j - 1) * dw$; $dw = (10^{-Y/10} - 10^{-X/10}) / (M - 2)$ et $j = 1, \dots, M$. Le tableau $w(n)$ recense les valeurs de $\left(\frac{n+i}{c}\right)$ pour lesquelles les fonctions FDP sur les liaisons montante et descendante seront définies.

Etape 6: Pour $j = 1$ à M

si $w(j) < 10^{-X_u/10}$

poser $P_u(j) = 1$;

sinon, si $w(j) > 10^{-Y_u/10}$

poser $P_u(j) = 0$;

sinon,

calculer la valeur de $A_{pu}(p_u)$ pour que $C/(N + I)_u = -10 \log w(j)$;

calculer p_u correspondant à cette valeur de A_{pu} en utilisant la Recommandation UIT-R P.618;

poser $P_u(j) = p_u/100$;

fin.

Fin de la boucle.

A la fin de cette étape, on dispose du tableau $P_u(j)$ définissant la FDC pour les valeurs $\left(\frac{n+i}{c}\right)_u$ présentant un intérêt (c'est-à-dire $w(j)$).

Etape 7: Répéter l'Etape 5 pour déterminer $P_d(j)$ compte tenu de $C/(N + I)_d$, X_d et Y_d . A la fin de cette étape, on dispose du tableau $P_d(j)$ définissant la FDC pour les valeurs $\left(\frac{n+i}{c}\right)_d$ présentant un intérêt (c'est-à-dire $w(j)$).

Etape 8: Désigner par $f_u(\cdot)$ la fonction FDP de la variable $\left(\frac{n+i}{c}\right)_u$ et par $f_d(\cdot)$ celle de la variable $\left(\frac{n+i}{c}\right)_d$, avec les définitions suivantes:

$$f_u(j-1) = \text{Prob} \left\{ \left(\frac{n+i}{c} \right)_u = w(j-1) \right\} = P_u(j-1) - P_u(j) \quad j = 2, 3, \dots, M$$

$$f_d(j-1) = \text{Prob} \left\{ \left(\frac{n+i}{c} \right)_d = w(j-1) \right\} = P_d(j-1) - P_d(j) \quad j = 2, 3, \dots, M$$

Etape 9: Définir $k = m + j - 1$, puis $z(k) = w(m) + w(j)$ pour $m, j = 1, \dots, M - 1$ (c'est-à-dire $k = 1, 2, \dots, 2 * M - 3$).

Etape 10: Procéder comme suit à la convolution des fonctions FDP:

$$f(z(k)) = \sum_{j=1}^{M-1} f_u(j) f_d(k-j) \quad k=1, \dots, 2 * M - 3$$

Noter que si n n'appartient pas à l'intervalle $[1, M - 1]$, $f_u(n) = 0$ et $f_d(n) = 0$.

Etape 11: La fonction FDP de la variable globale cumulative $C/(N + I)$ est alors donnée par:

$$\text{Prob}(C/(N + I) = -10 \log z(k)) = f(z(k))$$

Etape 12: La disponibilité P_s du système, égale à la probabilité pour la valeur globale cumulative $C/(N + I)$ supérieure à un seuil, Z , est donnée par:

$$P_s = \sum_{k=1}^L f(z(k))$$

où L est tel que $-10 \log z(L) \geq Z$ et $-10 \log z(L + 1) < Z$.

2 Calcul approché de la disponibilité du système

L'algorithme indiqué ci-après correspond à une mise en œuvre possible de la méthode de calcul approché décrite au § 2.3.3 de l'Annexe 1 pour déterminer la limite supérieure et une valeur approchée de la limite inférieure de la disponibilité globale P_s du système.

2.1 Limite supérieure

Cette méthode consiste à déterminer d'abord p'_d puis p'_u , en supposant que lorsque la liaison étudiée subit un évanouissement dû à la pluie, l'autre liaison en est exempte.

Pour calculer p'_d , on détermine la valeur $C/(N + I)_d$ cible requise pour que la valeur $C/(N + I)$ de seuil QEF par ciel clair sur la liaison descendante soit atteinte, valeur à partir de laquelle on calcule une limite supérieure de l'affaiblissement de propagation sur la liaison descendante pour laquelle le système peut fermer la liaison descendante. Un algorithme itératif permet ensuite de déterminer l'accroissement de la température de bruit du récepteur en fonction de l'indisponibilité du système et de l'affaiblissement de propagation sur la liaison descendante, afin de converger vers une solution en termes d'indisponibilité globale du système qui, appliquée à la liaison montante par ciel clair et à la liaison descendante en conditions d'évanouissement dû à la pluie, satisfait au seuil $C/(N + I)$ au point QEF.

Pour calculer p'_u , une première estimation de l'indisponibilité globale du système p_s est calculée en supposant une liaison idéale, c'est-à-dire sans évanouissement dû à la pluie, aux nuages ou à la scintillation. On recalcule ensuite p'_u de manière itérative en utilisant la valeur précédemment calculée de p_s pour déterminer le niveau de l'évanouissement dû à la pluie et à la scintillation dans $C/(N + I)_d$ qui a une incidence sur p'_u . Ce processus itératif aboutit aux valeurs finales de p_s et p'_u .

Comme on l'a mentionné au paragraphe précédent, les modèles de propagation de la Recommandation UIT-R P.618-8 relatifs aux évanouissements dus aux nuages, à la pluie et à la scintillation ne sont valables que sur une gamme combinée de dépassement (p_u ou p_d) compris entre 0,01% et 5%, la limite inférieure étant imposée par le modèle d'évanouissement dû à la scintillation. Dans la procédure suivante, cette limite inférieure est abaissée à 0,001% en supposant que l'évanouissement dû à la scintillation pour un dépassement de 0,01% reste constant aux pourcentages inférieurs.

2.1.1 Calcul de p'_d

L'algorithme suivant permet de calculer la valeur de p'_d .

Etape 1: Calculer, en utilisant les équations (1) à (4), la valeur $C/(N + I)_d$ cible pour laquelle la grandeur $C/(N + I)$ globale est égale à $C/(N + I)$ au seuil QEF, en supposant une liaison montante par ciel clair ($A_{pu} = 0$; $UPC = 0$).

Etape 2: Poser $p_d = 0,001\%$ puis calculer A_{pd} et dT .

Etape 3: Calculer la valeur minimale de $C/(N + I)_d$ en utilisant les valeurs A_{pd} et dT calculées à l'Etape 2.

Etape 4: Si la valeur minimale de $C/(N + I)_d$ est supérieure à la valeur cible $C/(N + I)_d$, poser $p'_d = p_d = 0$ et ne pas effectuer les Etapes 5 à 9.

Etape 5: Calculer la valeur de A_{pd} permettant d'obtenir la valeur cible de $C/(N + I)_d$ en supposant que $dT = 0$.

Etape 6: En utilisant la Recommandation UIT-R P.618, déterminer l'indisponibilité sur la liaison descendante p_d associée à A_{pd} .

Etape 7: Calculer la valeur de dT associée à p_d .

Etape 8: Recalculer la valeur de A_{pd} permettant d'obtenir la valeur cible de $C/(N + I)_d$ compte tenu de la valeur dT calculée à l'Etape 7.

Etape 9: Répéter les Etapes 6 à 8 jusqu'à ce que la valeur A_{pd} recalculée converge vers une erreur acceptable (delta), correspondant à la résolution de l'équation $p'_d = p_d$ pour le scénario d'une liaison montante par ciel clair et d'une liaison descendante subissant un évanouissement dû à la pluie.

2.1.2 Calcul de p'_u et de p_s

Comme on l'a vu plus haut, on peut négliger ici l'évanouissement dû aux nuages et à la scintillation sur la liaison montante. Par conséquent: $A_u = A_{ru}$.

Etape 1: Calculer, en utilisant les équations (1) à (4), la valeur A_{ru} pour laquelle la grandeur $C/(N + I)$ globale est égale à $C/(N + I)$ au seuil QEF, en supposant une absence d'évanouissement dû à la pluie sur la liaison descendante ($A_{rd} = A_{cd} = A_{sd} = 0$) et une valeur maximale de la commande de puissance sur la liaison montante ($UPC = UPC_{max}$) si cette commande existe. Cette valeur initiale de A_{ru} représente une limite supérieure de l'affaiblissement dû à la pluie sur la liaison montante pour laquelle le système peut fermer la liaison.

Etape 2: En utilisant la Recommandation UIT-R P.618, déterminer l'indisponibilité sur la liaison montante p_u associée à A_{ru} . Cette valeur représente une limite inférieure de l'indisponibilité.

Etape 3: Calculer l'indisponibilité globale p_s en utilisant l'équation (5) avec $p'_u = p_u$ et la valeur de p'_d calculée plus haut au § 2.1.

Etape 4: Lors de la première itération, attribuer à p_d une fraction de la valeur de p_s . A chaque nouvelle itération, augmenter p_d de cette fraction. Cette valeur fractionnelle est liée à la précision requise. On pourra par exemple choisir une valeur égale au dix millièmes de la précision recherchée. Etant donné que cette procédure n'est valable que pour les pourcentages de dépassement supérieurs à 0,001%, le pas choisi ne pourra pas être inférieur à 0,001%.

Etape 5: Calculer A_{pd} et $C/(N + I)_d$ pour p_d et sans évanouissement dû à la pluie sur la liaison descendante ($A_{rd} = 0$), c'est-à-dire en considérant uniquement l'absorption due aux gaz et les évanouissements dus aux nuages et à la scintillation.

Etape 6: Recalculer la valeur de A_{ru} pour laquelle la valeur $C/(N + I)$ globale est égale à $C/(N + I)$ au seuil QEF compte tenu de la valeur $C/(N + I)_d$ calculée à l'Etape 5 précédente.

Etape 7: En utilisant la Recommandation UIT-R P.618, déterminer la nouvelle valeur de l'indisponibilité p_u sur la liaison montante compte tenu de A_{ru} .

Etape 8: Recalculer p_s en utilisant $p'_u = p_u$ et la valeur de p'_d calculée plus haut au § 2.1.

Etape 9: Répéter les Etapes 4 à 8 jusqu'à ce que la valeur p_s recalculée converge vers une erreur acceptable (c'est-à-dire lorsque les itérations suivantes modifient cette valeur d'une amplitude inférieure à celle que définit l'erreur).

2.2 Valeur approchée de la limite inférieure

L'algorithme suivant met en œuvre la méthode décrite au § 2.3.3.2 pour déterminer une valeur approchée de la disponibilité globale P_s du système.

Etape 1: Calculer, en utilisant les équations (1), (3) et (4), la valeur $C/(N + I)_d$ cible pour laquelle la grandeur $C/(N + I)$ globale est égale à $C/(N + I)$ au seuil QEF, en supposant une valeur $C/(N + I)_u$ constante bien supérieure à celle du point QEF.

Etape 2: Poser $p_d = 0,001\%$ puis calculer A_{pd} et dT .

Etape 3: Calculer la valeur minimale de $C/(N + I)_d$ en utilisant les valeurs A_{pd} et dT susmentionnées.

Etape 4: Si la valeur minimale de $C/(N + I)_d$ est supérieure à la valeur cible $C/(N + I)_d$, poser $p_d = 0$ et ne pas effectuer les Etapes 5 à 10.

Etape 5: Calculer la valeur de A_{pd} permettant d'obtenir la valeur $C/(N + I)_d$ cible en supposant $dT = 0$.

Etape 6: En utilisant la Recommandation UIT-R P.618, déterminer l'indisponibilité sur la liaison descendante p_d associée à A_{pd} .

Etape 7: Calculer la valeur de dT associée à p_d .

Etape 8: Recalculer la valeur de A_{pd} permettant d'obtenir la valeur cible de $C/(N + I)_d$ compte tenu de la valeur dT calculée à l'Etape 7.

Etape 9: Répéter les Etapes 6 à 8 jusqu'à ce que la valeur A_{pd} recalculée converge vers une erreur acceptable (δ).

Etape 10: La disponibilité globale du système est donnée par $P_s = 100 - p_d$.

Appendice 2 à l'Annexe 1

Informations additionnelles sur la disponibilité d'un système multiprogramme numérique du SRS fonctionnant dans les bandes des 12 GHz

1 Incidence des données de propagation actuelles sur la disponibilité des systèmes numériques du SRS

Ce paragraphe porte sur les données de propagation actuelles et traite de leur incidence sur la disponibilité des liaisons numériques du SRS.

Une analyse a été menée pour déterminer l'incidence des données de propagation mentionnées dans les Recommandations UIT-R P.618 et UIT-R P.837³ sur la disponibilité des porteuses numériques du SRS émises vers des villes des Régions 1, 2 et 3. Une différence majeure avec les données de propagation précédentes réside dans l'utilisation de courbes continues de taux de pluie fondés sur des données mesurées sur sites réels, par opposition à des taux fondés sur la prise en compte d'un nombre discret de zones de pluie.

La formule suivante est appliquée:

$$(C/N)_p = (C/N)_{cs} - A_p$$

où:

$(C/N)_p$: rapport porteuse sur bruit dépassé pendant $p\%$ du temps

$(C/N)_{cs}$: rapport signal sur bruit par ciel clair

A_p : niveau d'affaiblissement non dépassé pendant $p\%$ du temps

p : pourcentage de temps utilisé pour spécifier la disponibilité cible.

Dans le cas des Régions 1 et 3, on a fait l'hypothèse d'une transmission sur des liaisons numériques du SRS présentant les caractéristiques décrites dans le Tableau 6 vers plus de 600 grandes villes à partir de positions orbitales conformes au Plan pour les Régions 1 et 3. On a choisi comme position orbitale associée aux transmissions pour une ville donnée celle figurant dans l'assignation du Plan de l'administration correspondante.

On a supposé que, dans la Région 2, les porteuses numériques du SRS présentant les caractéristiques du Tableau 7 sont émises à destination de 158 villes.

Les taux de pluie calculés pour les différentes porteuses sont représentés sur les Fig. 4 à 7. Celles-ci indiquent des taux de pluie compris entre 1 mm/h et 159,44 mm/h.

On a calculé le rapport C/N dépassé pendant divers pourcentages de temps variant entre 99,9% et 99%. Les distributions statistiques pour les niveaux C/N atteints pendant différents pourcentages de temps sont données dans les Tableaux 8 et 9. Ces distributions indiquent qu'environ 90% des porteuses présentent une disponibilité de 99,86% (99,5% pendant le mois le plus défavorable) pour les petites valeurs de C/N . Dans le cas d'une valeur de p.i.r.e. moyenne dans une zone de service, on suppose qu'un pourcentage de liaisons encore plus grand doit pouvoir satisfaire à une disponibilité de 99,86%.

³ Ces calculs sont fondés sur les versions précédentes des Recommandations UIT-R P.618 et UIT-R P.837, ce qui signifie qu'ils utilisent le modèle de pluie de la Recommandation UIT-R P.618-6 et de la Recommandation associée UIT-R P.837-2.

TABLEAU 6

Caractéristiques nominales des assignations du Plan du SRS dans les Régions 1 et 3

Valeur minimale de p.i.r.e. dans une zone de service (dBW)	55,9 ⁽¹⁾
Bande de fréquences (GHz)	12
Diamètre de l'antenne de réception (cm)	60
Gain de l'antenne de réception (dBi)	35,5

⁽¹⁾ Équivalent à une valeur de p.i.r.e. nominale maximale de 58,9 dBW.

TABLEAU 7

Caractéristiques de systèmes numériques donnés à titre d'exemple et qui peuvent être mis en œuvre pour les assignations du Plan dans la Région 2

p.i.r.e. (dBW)	55,5
Bande de fréquences (GHz)	12,5
Diamètre de l'antenne de réception (cm)	45
Gain de l'antenne de réception (dBi)	33,5
Angle d'élévation (degrés)	40

TABLEAU 8

Distribution statistique des niveaux C/N atteints pendant différents pourcentages de temps sur des liaisons numériques du SRS dans les Régions 1 et 3

Niveau C/N dépassé	Pourcentage de porteuses pour lesquelles le niveau C/N est dépassé pendant 99,9% du temps	Pourcentage de porteuses pour lesquelles le niveau C/N est dépassé pendant 99,7% du temps	Pourcentage de porteuses pour lesquelles le niveau C/N est dépassé pendant 99,5% du temps
6	95,1	100	100
7	90,5	100	100
8	85,2	99,7	100
9,6	71,6	95,5	100
10	68,1	92,8	99,7

TABLEAU 9

Distribution statistique des niveaux *C/N* atteints pendant différents pourcentages de temps sur des liaisons numériques du SRS dans la Région 2

Niveau <i>C/N</i> dépassé	Pourcentage de porteuses pour lesquelles le niveau <i>C/N</i> est dépassé pendant 99,9% du temps	Pourcentage de porteuses pour lesquelles le niveau <i>C/N</i> est dépassé pendant 99,7% du temps	Pourcentage de porteuses pour lesquelles le niveau <i>C/N</i> est dépassé pendant 99,5% du temps
5	81,6	100	100
7	67,1	91,8	100
7,6	63,3	88,6	100
8	62,0	84,2	98,7
9	53,8	74,7	89,9
9,6	50,0	69,0	84,2

FIGURE 4

Taux de pluie associés aux porteuses 1 à 212

Taux de pluie pour 0,01% du temps (mm/h)

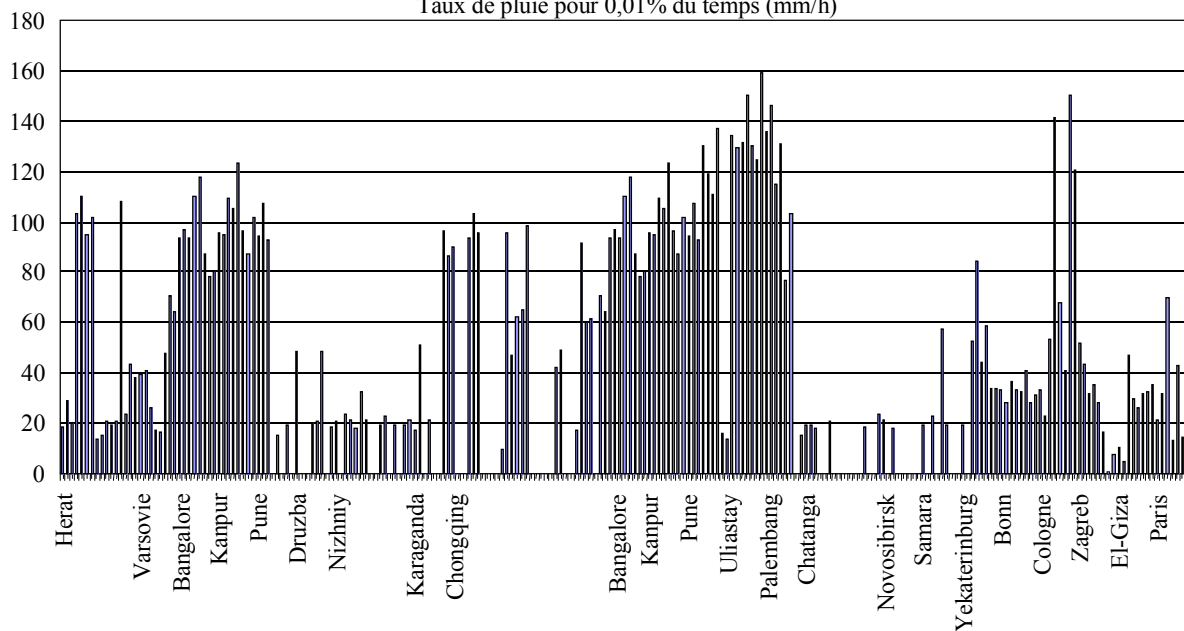
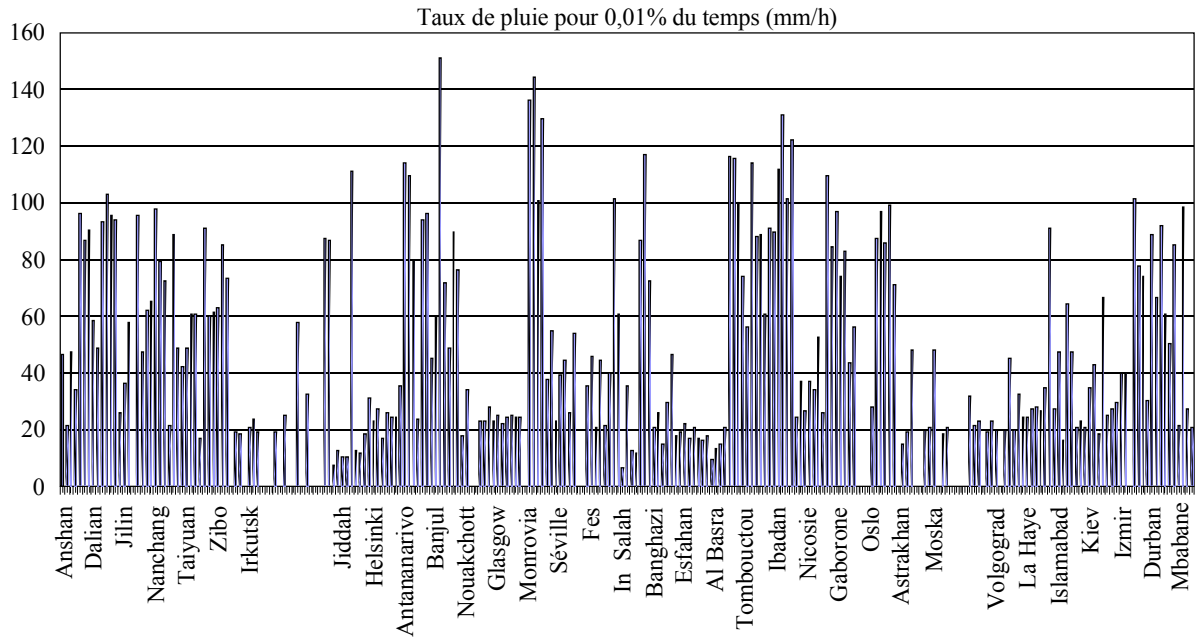
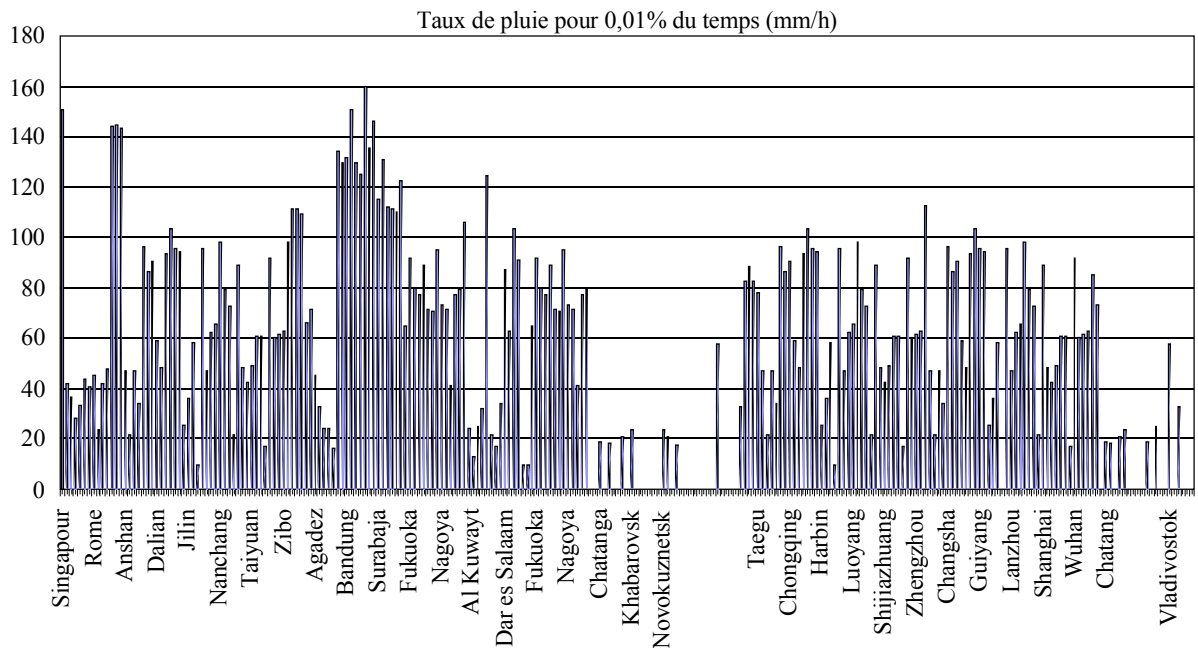


FIGURE 5
Taux de pluie associés aux portees 213 à 435



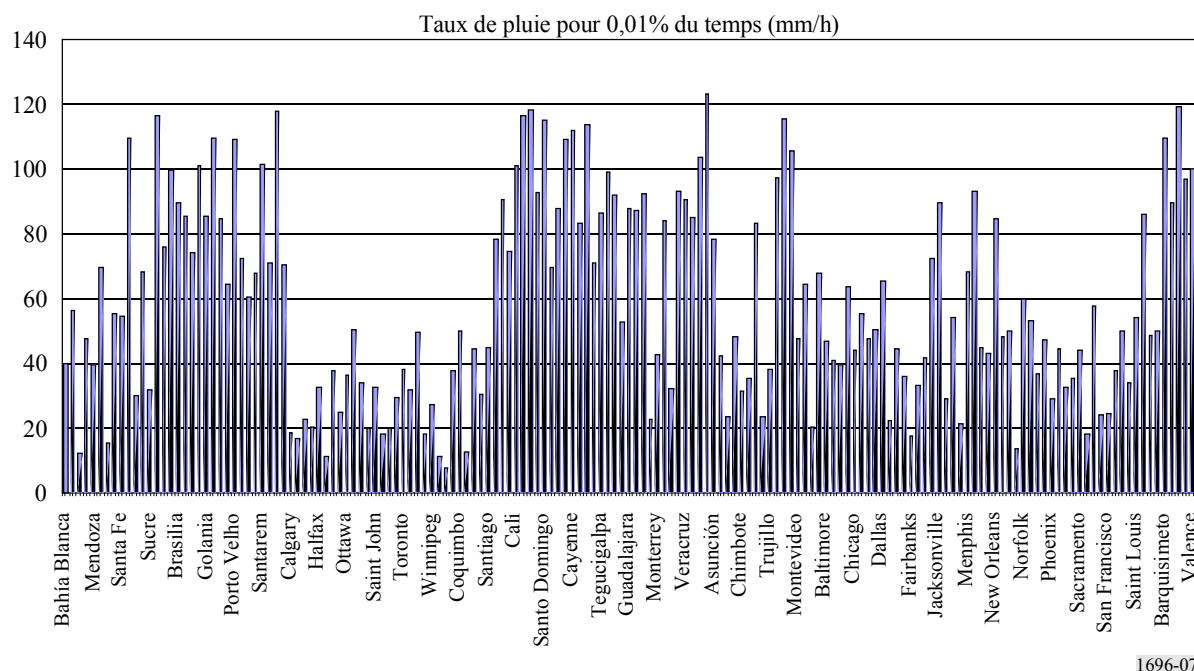
1696-05

FIGURE 6
Taux de pluie associés aux portees 436 à 617



1696-06

FIGURE 7
Taux de pluie associés aux porteuses en Région 2



2 Exemple de qualité de fonctionnement en termes de disponibilité pour plusieurs villes des Régions 1 et 3

Le Tableau 11 présente la qualité de fonctionnement en termes de disponibilité durant le mois le plus défavorable pour des liaisons numériques vers plusieurs villes des Régions 1 et 3, sur la base des paramètres système indiqués dans le Tableau 10. On considère les modulations MDP-4 et MDP-8.

TABLEAU 10
Exemple de caractéristiques d'un système numérique du SRS dans la Région 1 ou 3

Domaine	En bord de couverture	Près de l'axe de visée
p.i.r.e. (dBW)	55,9	58,4
Bande de fréquences (GHz)	12	
Diamètre de l'antenne de réception (cm)	60	45
Gain de l'antenne de réception (dBi)	35,5	33,0
C/N (par ciel clair) (dB) (27 MHz de largeur de bande) ⁽¹⁾	18,2	18,2

⁽¹⁾ Site de réception: Genève; position orbitale: 18,8° W; affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère: 0,2 dB; perte due au dépointage de l'antenne de réception: 0,3 dB; facteur de bruit du récepteur: 1,0.

Il convient de noter que toutes les liaisons à modulation MDP-4 du Tableau 11 présentent une disponibilité supérieure à 99,5% pendant le mois le plus défavorable.

Le Tableau 11 permet de comparer l'accroissement de la durée des interruptions à des accroissements incrémentaux de 0,5 dB de la valeur *C/N* requise. Ce type de tableau est utile pour étudier la limite de dégradation totale du signal utile en présence de brouillage, de bruit et de pluie.

TABLEAU 11

Qualité de fonctionnement en termes de disponibilité pendant le mois le plus défavorable pour des exemples de liaisons numériques de radiodiffusion directe par satellite vers des villes des Régions 1 et 3*

		Pourcentage/minutes d'interruption au cours du mois le plus défavorable (Accroissement (%) par rapport à une valeur <i>C/I</i> de base égale à 7,6 dB)			
Modulation	<i>C/N</i> requis (dB)	Moscou	Londres	Paris	Istanbul
MDP-4	7,6	0,023/10 (-)	0,025/11 (-)	0,022/10 (-)	0,019/8 (-)
	7,6 + 0,5	0,026/11 (13)	0,029/13 (16)	0,025/11 (14)	0,022/10 (16)
	7,6 + 1,0	0,031/13 (35)	0,034/15 (36)	0,029/13 (32)	0,026/11 (37)
	7,6 + 1,5	0,036/16 (57)	0,040/17 (60)	0,034/15 (55)	0,030/13 (58)
	7,6 + 2,0	0,042/18 (83)	0,047/20 (88)	0,040/17 (82)	0,036/16 (89)
		Pourcentage/minutes d'interruption au cours du mois le plus défavorable (Accroissement (%) par rapport à une valeur <i>C/I</i> de base égale à 11 dB)			
Modulation	<i>C/N</i> requis (dB)	Moscou	Londres	Paris	Istanbul
MDP-8	11,0	0,068/29 (-)	0,076/33 (-)	0,064/28 (-)	0,057/25 (-)
	11,0 + 0,5	0,082/35 (21)	0,091/39 (20)	0,077/33 (20)	0,068/29 (19)
	11,0 + 1,0	0,099/43 (46)	0,110/48 (45)	0,093/40 (45)	0,082/35 (44)
	11,0 + 1,5	0,120/52 (76)	0,135/58 (78)	0,113/49 (77)	0,100/43 (75)
	11,0 + 2,0	0,148/64 (118)	0,166/72 (118)	0,139/60 (117)	0,122/53 (114)

TABLEAU 11

Qualité de fonctionnement en termes de disponibilité pendant le mois le plus défavorable pour des exemples de liaisons numériques de radiodiffusion directe par satellite vers des villes des Régions 1 et 3*

		Pourcentage/minutes d'interruption au cours du mois le plus défavorable (Accroissement (%) par rapport à une valeur C/I de base égale à 7,6 dB (MDP-4) ou à 11,0 dB (MDP-8))			
Modulation	C/N requis (dB)	Tokyo	Kagoshima	Séoul	Bangkok
MDP-4	7,6	0,080/35 (-)	0,109/47 (-)	0,032/14 (-)	0,231/100 (-)
	7,6 + 0,5	0,091/39 (14)	0,123/53 (13)	0,037/16 (16)	0,263/114 (14)
	7,6 + 1,0	0,103/44 (29)	0,140/60 (28)	0,043/19 (34)	0,299/129 (29)
	7,6 + 1,5	0,118/51 (48)	0,159/69 (46)	0,050/22 (56)	0,341/147 (48)
	7,6 + 2,0	0,136/59 (70)	0,182/79 (67)	0,058/25 (81)	0,390/168 (66)
MDP-8	11,0	0,205/89 (-)	0,272/118 (-)	0,090/39 (-)	0,574/248 (-)
	11,0 + 0,5	0,240/103 (17)	0,318/137 (17)	0,106/46 (18)	0,662/286 (15)
	11,0 + 1,0	0,283/122 (38)	0,373/161 (37)	0,127/55 (41)	0,765/330 (33)
	11,0 + 1,5	0,336/145 (64)	0,440/190 (62)	0,152/66 (69)	0,885/382 (54)
	11,0 + 2,0	0,403/174 (97)	0,525/227 (93)	0,185/80 (106)	1,026/443 (79)

* Le satellite rayonnant vers une ville donnée est supposé occuper la position orbitale de son assignation de Plan. On suppose que la perte due au dépointage au niveau de l'antenne de réception est égale à 0,3 dB. Les Recommandations UIT-R P.676-5, UIT-R P.836 et UIT-R P.1510 ont été utilisées pour calculer l'affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère. Les Recommandations UIT-R P.618-7 et UIT-R P.837-3 ont été utilisées pour calculer l'affaiblissement dû à la pluie.

3 Modulation non MDP-4

Il ressort de la Recommandation UIT-R BO.1516 et de la réponse à la Lettre CR/116 que les liaisons numériques de radiodiffusion directe par satellite feront non seulement intervenir la modulation MDP-4 mais également les modulations MDP-8 et MDP-2. Des améliorations techniques permettront de mieux utiliser des modulations spectrales très efficaces (MDP-8, MAQ-16, modulation par déplacement d'amplitude et de phase (MDAP-16) par exemple). La méthode à utiliser pour déterminer la qualité de fonctionnement en termes de disponibilité des systèmes à modulation non MDP-4 est celle décrite dans l'Annexe 1. Le MDP-8 et d'autres schémas de modulation/codage non MDP-4 étant de plus en plus fréquemment adoptés, le Tableau 2 de l'Annexe 1 devrait être complété.