

RECOMMANDATION UIT-R BO.1659

Techniques de compensation de l'affaiblissement dû à la pluie pour les systèmes du service de radiodiffusion par satellite dans les bandes de fréquences comprises entre 17,3 GHz et 42,5 GHz

(Questions UIT-R 21/6 et UIT-R 22/6)

(2003)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les systèmes du SRS qui utilisent des bandes de fréquences à partir de 17,3 GHz ont la possibilité d'offrir des services multiprogrammes numériques à large bande RF pouvant comprendre des programmes de télévision à haute définition (TVHD), audio et de données et assurer éventuellement l'interactivité;
- b) que, dans l'avenir, il pourrait aussi exister des canaux appropriés pour prendre en compte les programmes à plus haut débit tels que les programmes à imagerie à très grande résolution dont le nombre de lignes est beaucoup plus grand qu'avec la TVHD, les programmes de télévision à trois dimensions et les programmes de données à haut débit;
- c) que la Conférence administrative mondiale des radiocommunications (Genève, 1979) (CAMR-79) a attribué des fréquences au SRS dans les bandes des 42 GHz et 84 GHz, que la Conférence administrative mondiale des radiocommunications chargée d'étudier les attributions de fréquences dans certaines parties du spectre (Malaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) a attribué la bande 17,3-17,8 GHz en Région 2 et la bande 21,4-22,0 GHz en Régions 1 et 3 au SRS pour une mise en oeuvre après le 1er avril 2007 et que la Conférence mondiale des radiocommunications (Istanbul, 2000) (CMR-2000) a apporté des modifications aux attributions de fréquences faites aux SRS pour les bandes allant de 84 GHz à 74 GHz;
- d) que l'absorption atmosphérique et que l'affaiblissement dû à la pluie dans les bandes du SRS à partir de 17,3 GHz ont des valeurs beaucoup plus élevées que dans la bande des 12 GHz qui est largement utilisée pour le SRS;
- e) que l'affaiblissement de propagation peut imposer une restriction importante à la disponibilité du service et/ou à la faisabilité des systèmes;
- f) que le Rapport UIT-R BO.2007 fournit des informations techniques en vue de la mise en oeuvre du SRS dans les bandes 17/21 GHz conformément à la Résolution 525 (CAMR-92). Dans les Annexes de ce Rapport des informations détaillées sont fournies sur les sujets suivants:
 - méthodes possibles de codage et de modulation pour améliorer la disponibilité du service de diffusion de TVHD numérique par satellite;
 - méthode de commande adaptative de la p.i.r.e. des satellites pour la télédiffusion par satellite dans la bande des 21 GHz;
 - schémas spectralement efficaces de codage et de modulation pour les applications de TVHD en large bande en distribution par câble et par satellite,

recommande

1 d'envisager d'utiliser l'une des techniques ci-après pour compenser l'affaiblissement dû à la pluie ou de les combiner en vue de faciliter la mise en oeuvre des systèmes du SRS dans les bandes de fréquences comprises entre 17,3 GHz et 42,5 GHz:

- accroissement de la p.i.r.e. (voir l'Annexe 1);
- transmission hiérarchique (voir l'Annexe 2);
- système de radiodiffusion avec mémoire dans le récepteur (voir l'Annexe 3).

NOTE 1 – On trouvera dans l'Appendice 1 des informations supplémentaires sur l'affaiblissement dû à la pluie dans les bandes du SRS comprises entre 17,3 GHz et 42,5 GHz et dans des bandes de liaison de connexion éventuelles entre 17,3 GHz et 30 GHz.

Annexe 1

Accroissement de la p.i.r.e.

1 Concept d'un satellite à p.i.r.e. variable

La commande adaptative de puissance est une méthode efficace et simple pour améliorer la disponibilité du service en cas d'évanouissement dû à la pluie, tout en réduisant les brouillages causés aux autres services par temps clair.

En général, le système du SRS possède une zone de service étendue couverte par un seul faisceau. Les systèmes à p.i.r.e. variable sont classés selon que la p.i.r.e. peut varier localement dans la zone de service ou non.

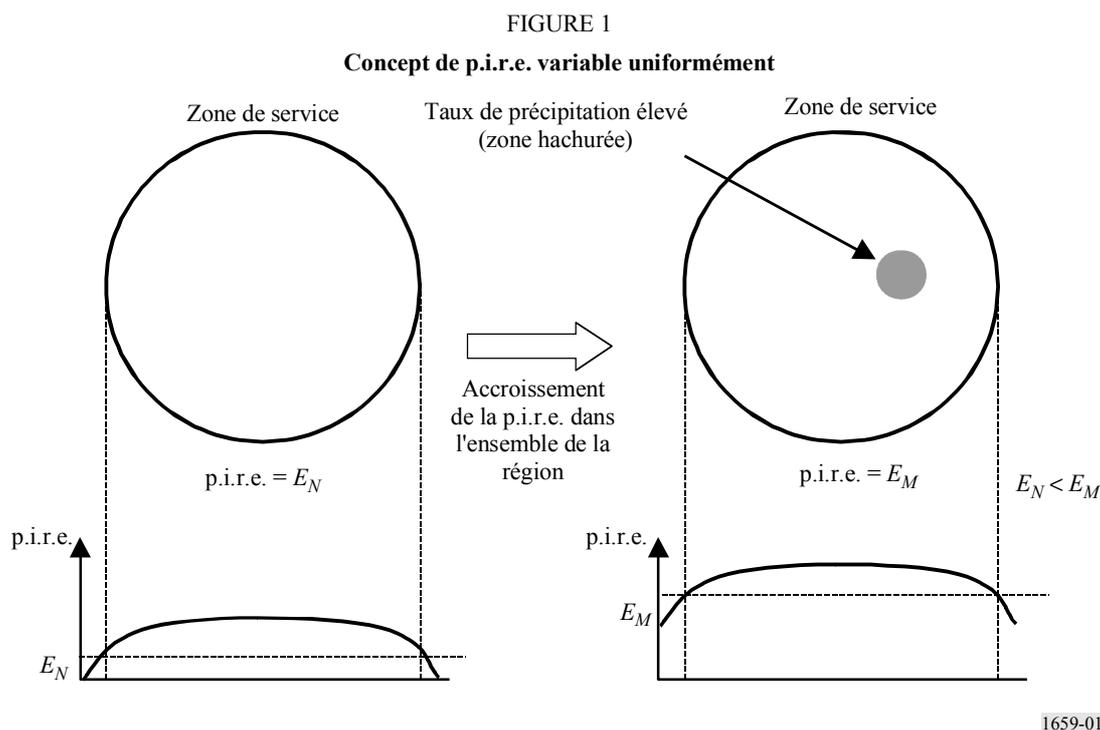
1.1 p.i.r.e. variable uniformément

Dans le système, la puissance totale de sortie du faisceau est contrôlée alors que le diagramme de rayonnement de l'antenne reste inchangé. La p.i.r.e. varie de façon uniforme dans la zone de service.

En règle générale, les fortes pluies se produisent au niveau local. Pour compenser l'affaiblissement local dû à la pluie, on accroît la p.i.r.e. pour l'ensemble de la zone de couverture. Sauf dans la zone affectée par de fortes pluies, il n'est pas possible de surcompenser le reste de la zone de service dans les conditions de temps clair. Cela n'est pas souhaitable du point de vue du partage avec les autres systèmes. A cet égard, la commande adaptative de puissance de ces systèmes à faisceau unique est moins efficace que dans le cas des systèmes à faisceaux multiples.

La valeur de la puissance totale de rayonnement requise est élevée et l'augmentation de la puissance de rayonnement est fréquente car un seul faisceau couvre l'ensemble de la région. Le concept du système est représenté à la Fig. 1. Les paramètres ci-après sont utilisés pour décrire le système:

- valeur de p.i.r.e. E_N et condition nominale dans la zone de service;
- valeur de p.i.r.e. E_M et accroissement maximal de la p.i.r.e. dans la zone de service. Dans certaines zones, les valeurs de p.i.r.e. varient entre E_N et E_M .



On peut aussi utiliser les paramètres ci-après pour définir le système du point de vue de la conception du satellite:

- puissance nominale appliquée à l'entrée de l'antenne;
- puissance maximale appliquée à l'entrée de l'antenne;
- contour de gain de l'antenne.

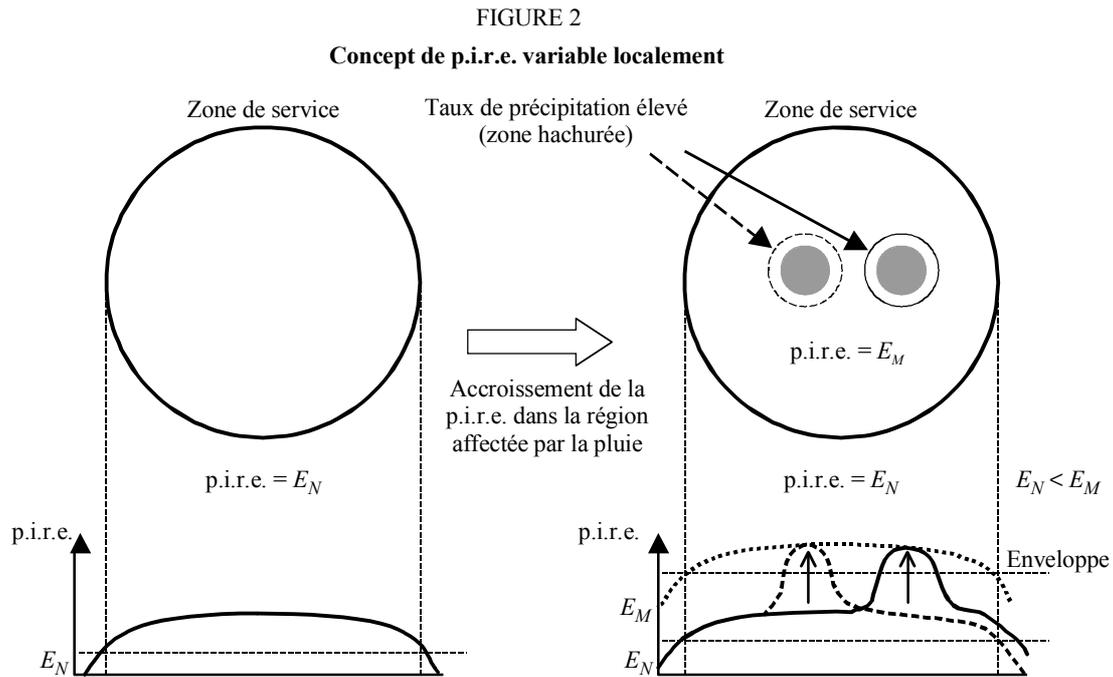
1.2 p.i.r.e. variable localement

Le système à p.i.r.e. variable localement agit en faisant varier localement la distribution de la p.i.r.e. de satellite d'un faisceau dans la zone de service, en fonction de la distribution locale de l'affaiblissement dû à la pluie. La puissance totale de rayonnement requise du satellite doit être réduite par rapport à un système à p.i.r.e. à variation uniforme qui offre la même disponibilité de service car la probabilité d'une occurrence simultanée de fortes pluies dans une partie importante de la zone de service est considérée comme étant extrêmement faible. Par conséquent, on applique un niveau plus strict de limitation des rayonnements non essentiels.

Il peut être nécessaire d'avoir une p.i.r.e. élevée pour compenser l'affaiblissement élevé dû à la pluie; en revanche, la durée de la forte augmentation de puissance et la zone à laquelle elle s'applique sont limitées. Puisque la p.i.r.e. peut être abaissée pour la zone considérée pendant une durée déterminée si l'affaiblissement dû à la pluie est faible, le système à p.i.r.e. élevée présente un avantage sur les systèmes à satellites avec p.i.r.e. fixe ou à variation uniforme pour ce qui est du partage avec d'autres systèmes.

Le concept utilisé est représenté à la Fig. 2. Les paramètres ci-après sont utilisés pour définir le système:

- valeur de p.i.r.e. E_N pour la zone avec condition nominale (E_N);
- valeur de p.i.r.e. E_M pour la zone locale avec accroissement maximal de la p.i.r.e. (E_M).



1659-02

On peut aussi utiliser les paramètres ci-après pour définir le système du point de vue de la conception du satellite:

- puissance nominale appliquée à l'entrée de l'antenne;
- contour de gain nominal de l'antenne;
- puissance maximale appliquée à l'entrée de l'antenne;
- exemples de contour de gain d'antenne avec accroissement au niveau local;
- enveloppe de gain maximal d'antenne avec les résultats de tous les déplacements possibles d'une p.i.r.e. renforcée.

2 Techniques satellitaires

2.1 Techniques satellitaires pour la p.i.r.e. variable uniformément

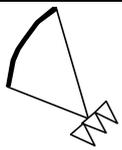
On peut réaliser le système en combinant une antenne à réflecteur avec une source à cornet et un amplificateur de puissance à puissance variable. Cet amplificateur qui est doté d'une très forte puissance servira à accroître la p.i.r.e. dans l'ensemble de la zone de service. Il est nécessaire d'étudier l'incidence de la commande de puissance sur le rendement de l'amplificateur.

2.2 Technologies satellitaires pour la p.i.r.e. variable localement

Pour réaliser la fonction, on peut recourir aux configurations d'antenne de satellite indiquées dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

Configuration d'antenne pour les systèmes à p.i.r.e. variable localement

Type d'antenne	Cornet multiple	Antenne-réseau à commande de phase		
		Monoréflecteur	Réflecteur double	Rayonnement direct
Diagramme schématique				
Gamme de synthèse des diagrammes de rayonnement	Emplacement du faisceau fixe	Angle d'orientation limité du faisceau	Plus étendue que pour le monoréflecteur	La plus étendue
Gain d'antenne	Elevé	Plus faible que pour le réflecteur double	Plus faible que pour le cornet multiple	Elevé
Diminution du gain avec l'orientation du faisceau	Forte	Plus faible que pour le cornet multiple	Plus faible que pour le monoréflecteur	Faible
Nombre d'éléments	Petit	Moyen	Moyen	Grand
Complexité de la structure	Simple	Moyenne	Complexe (réflecteur secondaire)	Complexe (circuit d'alimentation)

2.2.1 Antenne à cornets multiples

Dans l'antenne, les cornets multiples à source primaire sont placés dans le plan focal du réflecteur. Chaque cornet correspond à l'un des faisceaux produits par l'antenne. Lorsque les différents faisceaux émettent un rayonnement en phase, on obtient un seul faisceau modelé. Il est possible de réaliser un système à p.i.r.e. variable localement en contrôlant la puissance appliquée aux différents cornets.

La gamme de commande de puissance est limitée à la gamme de puissance de sortie correspondante de l'amplificateur de puissance. Il est nécessaire d'étudier l'incidence de la commande de puissance sur le rendement de l'amplificateur de puissance. Puisque les emplacements des faisceaux sont fixes, la gamme des synthèses de diagrammes de rayonnement possibles est inférieure à celle des antennes-réseaux à commande de phase.

2.2.2 Antenne-réseau à commande de phase

Cette antenne permet d'obtenir une gamme plus étendue de synthèses des diagrammes de rayonnement qu'avec l'antenne à cornets multiples. En effet, cette antenne-réseau à rayonnement direct offrirait un meilleur rendement quant à la gamme des synthèses possibles de rayonnement d'antenne. En revanche, la complexité de la configuration peut limiter l'applicabilité au système embarqué.

Contrairement à l'antenne à cornets multiples, de nombreux éléments rayonnants contribuent à la commande de puissance d'une petite zone. Le diamètre minimal de la zone amplifiée est déterminé par le diamètre d'ouverture de l'antenne. Il conviendrait d'examiner plus avant la qualité de fonctionnement ainsi que la faisabilité de chaque configuration.

2.2.3 Etude de cas sur une synthèse de diagramme de rayonnement d'antenne avec accroissement local de la p.i.r.e.

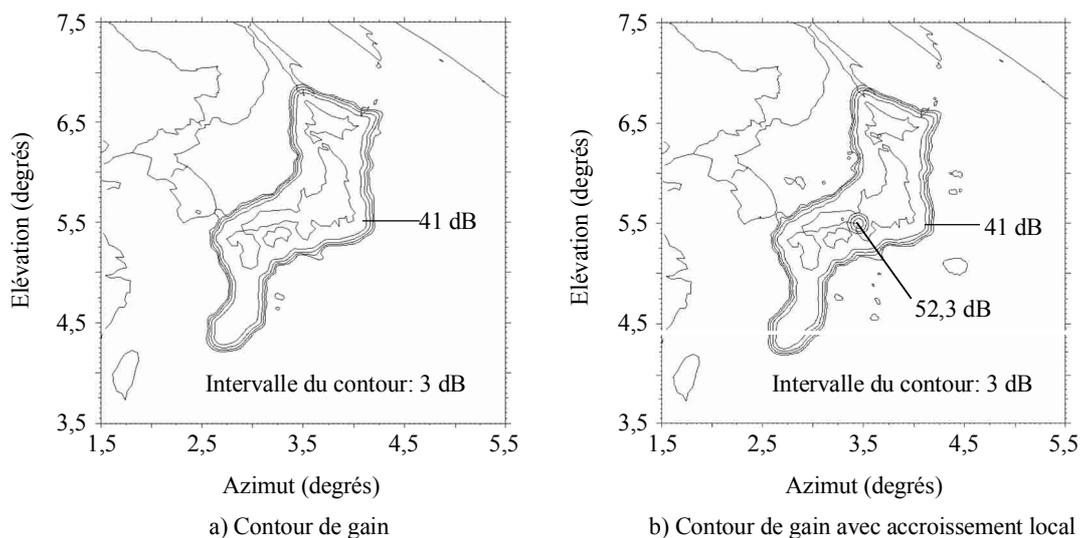
L'exemple de synthèse ci-après a pour objet d'expliquer la faisabilité d'un satellite à p.i.r.e. variable localement. Les paramètres de l'antenne sont indiqués ci-après:

- configuration de l'antenne: antenne-réseau monoréflecteur;
- diamètre d'ouverture de l'antenne: 10 m;
- fréquence: 21,7 GHz;
- nombre d'éléments rayonnants: 227;
- intervalle entre les éléments rayonnants: 1,5 longueur d'onde.

Les contours calculés du gain d'antenne sont représentés à la Fig. 3. La Figure de gauche représente un diagramme de rayonnement dans des conditions nominales. L'utilisation d'une antenne à large ouverture combinée à la technique à commande de phase permet d'obtenir un diagramme de rayonnement avec un plateau à large gain. La Figure de droite est un exemple de diagramme de rayonnement avec augmentation locale du gain. Le gain d'ouverture de crête augmente de plus de 10 dB par rapport à la valeur nominale. Par suite de l'augmentation au niveau local, les gains dans la zone restante diminuent légèrement.

FIGURE 3

Exemple de synthèse de diagramme de rayonnement (simulation)



1659-03

Pour déterminer les paramètres d'antenne tels que le diamètre et le nombre d'éléments rayonnants, il convient de tenir compte des paramètres du système: à savoir, dimension et forme de la zone de service, zone minimale et zone maximale à compenser, niveau d'accroissement requis ainsi que faisabilité en tant qu'équipement embarqué et enfin, coût.

2.3 Technologies des amplificateurs de puissance

Les tubes à ondes progressives (TOP) ainsi que les amplificateurs de puissance intégrés peuvent être utilisés comme amplificateurs de puissance des satellites. Dans la bande des 17/21 GHz, le rendement global d'un TOP traditionnel avec une puissance de sortie d'environ 100 W dépasse 60%. En revanche, la puissance de sortie et le rendement des amplificateurs de puissance intégrés sont inférieurs à ceux du TOP. On a étudié la possibilité d'utiliser des TOP comme amplificateurs d'une antenne-réseau active de satellites à p.i.r.e. variable localement, avec de mini TOP, dont les dimensions en coupe transversale sont réduites par rapport au TOP traditionnel. Une comparaison est fournie au Tableau 2.

TABLEAU 2

Exemples d'amplificateurs de puissance pour les systèmes à satellites fonctionnant dans les bandes des 17/21 GHz

Amplificateur de puissance	Amplificateur de puissance intégré (y compris supplément de puissance)	TOP	
		TOP traditionnel	Mini TOP
Puissance de sortie (W)	6	120	10
Rendement (%)	<10	62	50
Dimensions (mm)	326 × 327 × 36	85 × 63 × 325	15 × 20 × 300
Poids (kg)	4,6	0,9	0,3

Annexe 2

Transmission hiérarchique

1 Concept de la transmission hiérarchique

Un signal de transmission hiérarchique s'obtient par multiplexage dans le temps de deux schémas de modulation ou plus dont les rapports C/N sont différents. Les informations fondamentales comme le signal audio et le signal vidéo de qualité minimale sont transmis à un débit binaire faible à l'aide d'un schéma de codage canal/modulation robuste avec un rapport C/N faible. En revanche, la partie du signal à débit élevé: TVHD ou son multicanal (5,1 canaux) est transmise à l'aide d'un schéma de modulation plus efficace avec un rapport C/N plus élevé. Le récepteur choisit le flux de données approprié en fonction de la condition du rapport C/N à la réception. Par conséquent, on peut utiliser une transmission hiérarchique pour obtenir une dégradation par paliers du système numérique, la qualité de l'image étant dégradée progressivement avec la diminution du rapport C/N reçu.

Dans les bandes du SRS à partir de 17,3 GHz, l'affaiblissement dû à la pluie est nettement plus élevé que dans la bande des 12 GHz. En appliquant la transmission hiérarchique, il est possible de réduire les interruptions de service imputables à l'affaiblissement dû à la pluie. On trouvera des informations détaillées sur la transmission hiérarchique dans l'Annexe 1 du Rapport UIT-R BO.2007.

Le schéma de transmission hiérarchique peut être intégré aux autres techniques. Par ailleurs, il permet la transmission simultanée des différents types de service tels que la réception de radiodiffusion en temps non réel avec capacité de stockage (Annexe 3) et la radiodiffusion ordinaire en temps réel.

2 Exemple de transmission hiérarchique

Un exemple de transmission hiérarchique est donné dans la Recommandation UIT-R BO.1516 – Systèmes de télévision numérique multiprogramme utilisés par des satellites dans la gamme de fréquences 11/12 GHz. Dans le système D, il est possible de multiplexer dans le temps plusieurs signaux à modulation MDP-2, MDP-4 et MDP-8 à codage en treillis (CT). Dans ce système, on considère qu'une différence de 8,2 dB dans le rapport C/N requis entre la modulation MDP-2, débit 1/2 et la modulation MDP-8CT correspond au gain maximal de la transmission hiérarchique.

Annexe 3

Système de radiodiffusion avec mémoire dans le récepteur

1 Concept d'un système de radiodiffusion en temps non réel avec mémoire dans le récepteur

Pour faire face à l'augmentation de la capacité et à la réduction du prix des dispositifs à mémoire comme les disques durs, des récepteurs équipés d'une mémoire ont commencé à faire leur apparition sur le marché. Plusieurs études ont été entreprises en vue de tirer parti des fonctions de mémoire pour les services de radiodiffusion.

Sur le plan statistique, les fortes pluies susceptibles d'entraîner une interruption du signal ne se produisent que pendant une durée limitée durant un jour donné. En se fondant sur les caractéristiques disponibles, il est possible de transmettre des programmes à l'avance et de les stocker dans le récepteur afin d'éviter des interruptions de service pendant la présentation.

Dans l'hypothèse d'une réception dans la mémoire, un long délai de transmission est inévitable. Il dépend du système à adopter et de la faculté de remédier aux interruptions du signal. Les programmes en temps réel comme les programmes d'actualités en direct ne se prêtent peut-être pas à une mise en mémoire dans les systèmes.

La disponibilité de service de la radiodiffusion en temps non réel doit être étudiée plus avant.

2 Exemple de méthodes

2.1 Transmission répétitive

La transmission répétitive est un exemple de schémas de transmission du SRS qui utilisent le dispositif à mémoire pour améliorer la disponibilité de service. Dans ce type de transmission, les programmes sont transmis de manière répétée de façon à fournir des données intactes à la mémoire et par là même éviter les conséquences des interruptions causées aux liaisons en raison de l'affaiblissement dû à la pluie.

Puisqu'il est possible d'obtenir un rapport C/N élevé par temps clair, la réduction de l'efficacité due à une transmission répétitive peut être compensée par l'utilisation de modulations efficaces utilisant des fréquences élevées comme la modulation MAQ-16. Les paramètres du système tels que le nombre approprié de répétitions, les intervalles et le schéma de modulation appellent un complément d'étude.

2.2 Entrelacement de données par bloc de grande longueur

On peut recourir à l'entrelacement sur de très longs intervalles pour remédier à l'interruption du signal de réception qui peut se produire pendant une durée relativement brève au cours de l'intervalle.

Les données du programme sont dispersées (c'est-à-dire entrelacées) sur un long intervalle de transmission du côté de la transmission. Le récepteur commence par mémoriser le signal émis dans la mémoire puis l'utilise pour reconstruire (c'est-à-dire désentrelacer) le programme initial. Même si une partie des données transmises est perdue en raison de l'affaiblissement dû à la pluie, il est possible de reconstruire les données du programme en utilisant un code de correction d'erreur car les données continues qui ont été perdues sont dispersées par désentrelacement dans le récepteur.

Les paramètres du système tels que la longueur d'entrelacement et le schéma de modulation appropriés appellent un complément d'étude.

2.2.1 Exemple de système d'entrelacement de données par bloc de grande longueur

Une simulation d'un entrelacement de données par bloc de grande longueur a été effectuée. A cet effet, on a mesuré les données de l'affaiblissement dû à la pluie recueillies pendant un an, afin de prouver la validité du système. Un diagramme schématique de la simulation est représenté à la Fig. 4. Le côté droit du diagramme représente le système SRS numérique traditionnel avec correction d'erreur effectuée par code externe 1 et par code interne. Le côté gauche du diagramme est un bloc supplémentaire d'entrelacement de données par bloc de grande longueur qui comprend une mémoire de grande capacité ainsi qu'un codeur et un décodeur de correction d'erreur (code externe 2). Les paramètres utilisés dans la simulation sont les suivants:

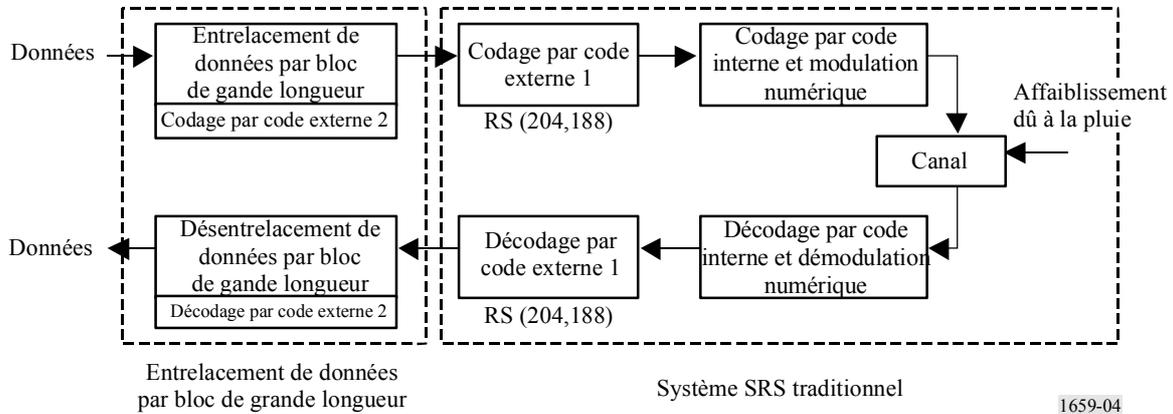
- site de réception: Tokyo (zone climatique K);
- données d'affaiblissement dû à la pluie: mesurées entre mai 2000 et avril 2001 dans la bande des 12 GHz, puis converties en données dans la bande des 21 GHz à l'aide d'une formule de similitude en fréquence donnée dans la Recommandation UIT-R P.618;
- modulation: MDP-8CT;
- puissance surfacique du satellite: $-114,0 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$.

La performance de l'entrelacement de données par bloc de grande longueur a été évaluée à partir de l'accroissement de la p.i.r.e.. Celle-ci est définie en tant que p.i.r.e. du système SRS traditionnel sans entrelacement de données par bloc de grande longueur et offre la même disponibilité de service que celle obtenue par bloc de simulation avec entrelacement de données par bloc de grande longueur.

L'accroissement de la p.i.r.e. en fonction de la période d'entrelacement est représenté à la Fig. 5, où la capacité de correction d'erreur du code externe 2 est fixée à 20% ou à 40%. La p.i.r.e. augmente en fonction de la période d'entrelacement tout comme elle le ferait avec l'augmentation de la capacité de la mémoire et du délai de transmission. Plus la capacité de correction d'erreur du code externe 2 est grande, plus la p.i.r.e. augmente avec la vitesse de transmission qui se trouve amputée. Par exemple, si on considère que la capacité de correction d'erreur est de 20%, une augmentation de la période d'entrelacement de une heure jusqu'à 12 h ou à 24 h équivaut à des accroissements respectifs de p.i.r.e. de 2,4 ou 6,2 dB.

FIGURE 4

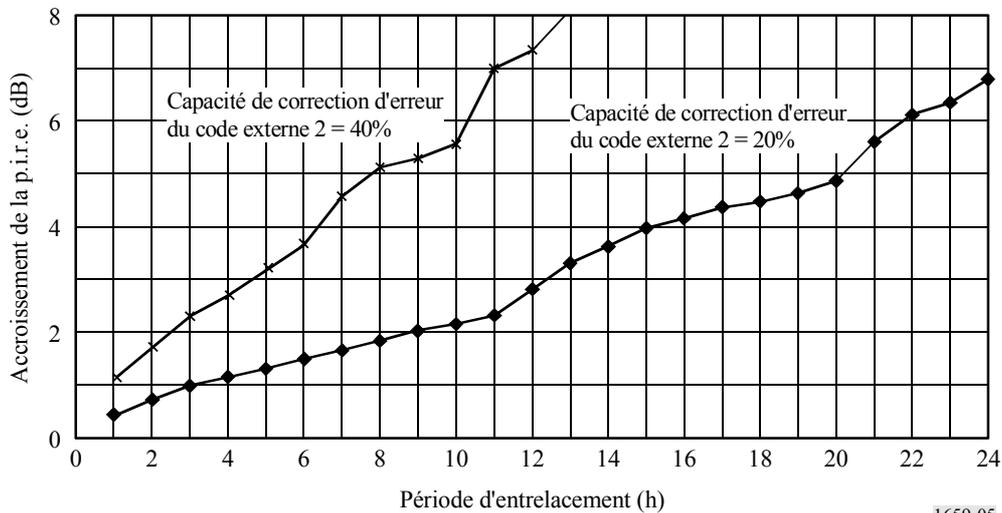
Diagramme schématique de la simulation



1659-04

FIGURE 5

Exemple de performance d'un entrelacement de données par bloc de grande longueur en termes d'accroissement de la puissance surfacique équivalente (simulation)



1659-05

Cette simulation se fait à partir de données recueillies pendant une année dans un site donné. Les effets observés seraient différents si les données concernaient un autre site, une puissance surfacique de satellite différente ou une durée plus longue. Les paramètres devraient être choisis minutieusement en fonction des spécifications du système.

Appendice 1 à l'Annexe 3

Affaiblissement dû à la pluie et absorption par les gaz atmosphériques dans les bandes du SRS entre 17,3 GHz et 42,5 GHz et liaisons de connexion associées

1 Introduction

Les bandes du SRS comprises entre 17,3 GHz et 42,5 GHz se caractérisent principalement par un affaiblissement de propagation plus important par rapport à la bande des 12 GHz. L'angle d'élévation est un facteur critique tant pour l'affaiblissement dû à la pluie que pour l'absorption atmosphérique dans ces bandes de fréquences élevées. Il y a lieu de choisir des techniques de compensation appropriées d'après l'affaiblissement de propagation qu'il faut réguler. Dans cet Appendice on trouvera une comparaison préliminaire de l'affaiblissement de propagation en fonction de la fréquence et de l'emplacement des stations terriennes.

2 Paramètres utilisés pour les calculs

Les paramètres indiqués dans les Recommandations ci-après sont utilisés dans les calculs:

- altitude de la station de réception: Recommandation UIT-R P.1511 (base de données);
- température annuelle moyenne de surface: Recommandation UIT-R P.1510 (base de données);
- densité de vapeur d'eau de surface (1% de l'année): Recommandation UIT-R P.836 (base de données);
- modèle d'affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère: Recommandation UIT-R P.676;
- modèle de taux de précipitation: Recommandation UIT-R P.837 (base de données);
- affaiblissement linéique: Recommandation UIT-R P.838;
- modèle d'altitude de pluie: Recommandation UIT-R P.839 (base de données);
- modèle d'affaiblissement dû à la pluie: Recommandation UIT-R P.618;
- position orbitale du satellite: coïncide en principe avec les positions orbitales indiquées dans les plans du SRS à 12 GHz pour les Régions 1, 2 et 3 (voir l'Appendice 30 du Règlement des radiocommunications).

3 Affaiblissement dû à la pluie et absorption gazeuse dans les bandes de liaison descendante du SRS

Une comparaison de l'affaiblissement dû à la pluie et de l'absorption gazeuse dans les bandes considérées a été effectuée par rapport à la bande des 12 GHz pour plusieurs villes dans les Régions 1, 2 et 3.

L'absorption est causée par la vapeur d'eau atmosphérique et par l'oxygène et la densité de vapeur d'eau n'est pas constante durant l'année considérée. Dans cette étude on a utilisé des valeurs dépassées pendant 1% de l'année et tirées de la base de données de l'UIT pour estimer l'absorption gazeuse.

Comme cela est indiqué dans les Tableaux 3 et 4, l'absorption gazeuse à 21,7 GHz est comprise entre 1,2 et 2,0 dB, contre environ 0,2 dB à 12,0 GHz. Les valeurs de l'affaiblissement dû à la pluie à 21,7 GHz sont approximativement quatre fois supérieures aux valeurs obtenues à 12,0 GHz, exprimées en décibels.

TABLEAU 3

Absorption des gaz par l'atmosphère et affaiblissement dû à la pluie dans des villes de la Région 1

		Moscou		Londres		Paris		Istanbul	
Longitude/latitude (degrés)		37,6 E/55,8 N		0,1 E/51,5 N		2,3 E/48,9 N		29,0 E/41,0 N	
Position orbitale du satellite (degrés)		36,0 E		33,5 O		7,0 O		42,0 E	
Angle d'élévation (degrés)		26,5		23,2		33,2		40,7	
$R_{0,01}$ (mm/h)		26,8		22,0		25,9		24,2	
	Pourcentage de temps annuel	12,0 GHz	21,7 GHz	12,0 GHz	21,7 GHz	12,0 GHz	21,7 GHz	12,0 GHz	21,7 GHz
Absorption atmosphérique	–	0,2 dB	1,9 dB	0,2 dB	2,0 dB	0,2 dB	1,6 dB	0,1 dB	1,4 dB
Affaiblissement dû à la pluie	0,3%	0,8 dB	2,9 dB	0,6 dB	2,5 dB	0,6 dB	2,4 dB	0,6 dB	2,3 dB
	0,1%	1,5 dB	5,4 dB	1,3 dB	4,7 dB	1,2 dB	4,6 dB	1,2 dB	4,4 dB

TABLEAU 4

Absorption des gaz par l'atmosphère et affaiblissement dû à la pluie dans des villes de la Région 3

		Tokyo		Kuala Lumpur		Séoul		Bangkok	
Longitude/latitude (degrés)		139,8 E/35,7 N		101,7 E/3,2 N		127 E/37,6 N		100,5 E/13,8 N	
Position orbitale du satellite (degrés)		110,0 E		91,5 E		116,0 E		98,0 E	
Angle d'élévation (degrés)		38,0		77,4		44,9		73,5	
$R_{0,01}$ (mm/h)		52,4		116,1		33,2		98,0	
	Pourcentage de temps annuel	12,0 GHz	21,7 GHz	12,0 GHz	21,7 GHz	12,0 GHz	21,7 GHz	12,0 GHz	21,7 GHz
Absorption atmosphérique	–	0,2 dB	1,8 dB	0,1 dB	1,2 dB	0,2 dB	1,8 dB	0,1 dB	1,3 dB
Affaiblissement dû à la pluie	0,3%	1,5 dB	5,8 dB	4,2 dB	17,5 dB	0,9 dB	3,6 dB	3,2 dB	13,5 dB
	0,1%	2,9 dB	10,6 dB	7,4 dB	29,3 dB	1,8 dB	6,7 dB	5,8 dB	23,1 dB

Dans le Tableau 5, les valeurs de l'affaiblissement de propagation à 17,5 GHz ont été comparées avec celles qui ont été obtenues à 12,5 GHz pour les villes de la Région 2. Les valeurs de l'affaiblissement dû à la pluie à 17,5 GHz étaient d'environ 2,5 fois supérieures à celles enregistrées à 12,5 GHz, exprimées en décibels.

TABLEAU 5

**Absorption des gaz par l'atmosphère et affaiblissement dû à la pluie
dans des villes de la Région 2**

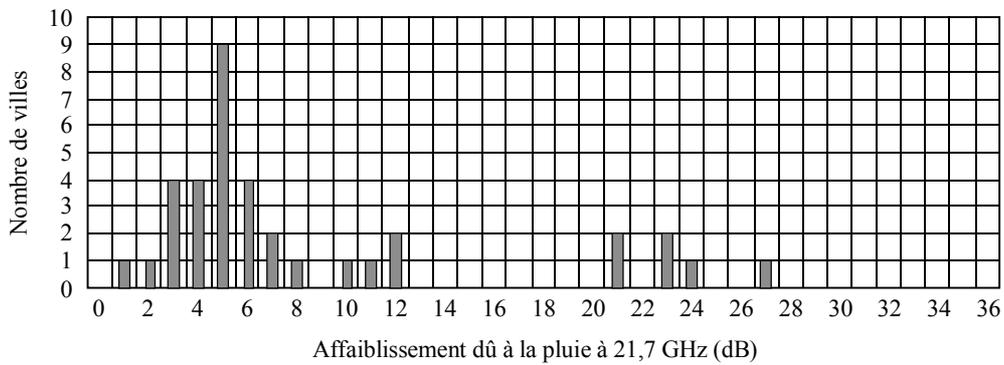
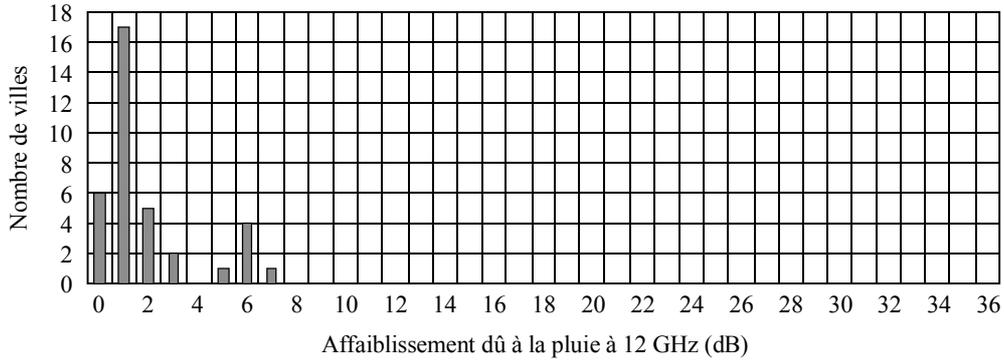
		Miami		Rio de Janeiro	
Longitude/latitude (degrés)		80,2 W/25,8 N		43,2 W/22,9 S	
Angle d'élévation (degrés)		51,8		63,1	
Position orbitale du satellite (degrés)		101,2 W		45,2 W	
$R_{0,01}$ (mm/h)		95,7		59,1	
	Pourcentage de temps annuel	12,5 GHz	17,5 GHz	12,5 GHz	17,5 GHz
Absorption atmosphérique	–	0,1 dB	0,4 dB	0,1 dB	0,3 dB
Affaiblissement dû à la pluie	0,3%	2,7 dB	6,1 dB	1,9 dB	4,4 dB
	0,1%	5,0 dB	10,9 dB	3,6 dB	8,0 dB

Les valeurs de l'affaiblissement dû à la pluie dans la bande des 12 GHz et des 17/21 GHz ont été calculées pour de grandes métropoles de pays Membres de l'UIT pendant 0,1% du temps d'une année moyenne. Les résultats sont représentés sous la forme d'histogrammes pour chaque Région (Fig. 6, 7 et 8). Par comparaison avec la Région 1, les valeurs de l'affaiblissement dû à la pluie obtenues dans les grandes métropoles de la Région 3 sont réparties sur une gamme plus importante à 21,7 GHz.

La bande 40,5-42,5 GHz est attribuée au SRS dans les trois Régions. Les valeurs de l'absorption atmosphérique et de l'affaiblissement dû à la pluie à 41,5 GHz sont indiquées dans les Tableaux 6, 7 et 8. Les valeurs de l'affaiblissement dû à la pluie dans la bande des 42 GHz sont sensiblement plus élevées que pour la bande des 17/21 GHz.

FIGURE 6

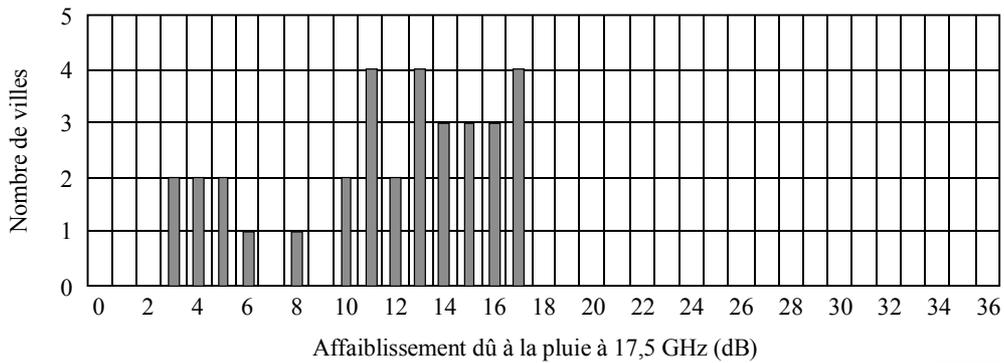
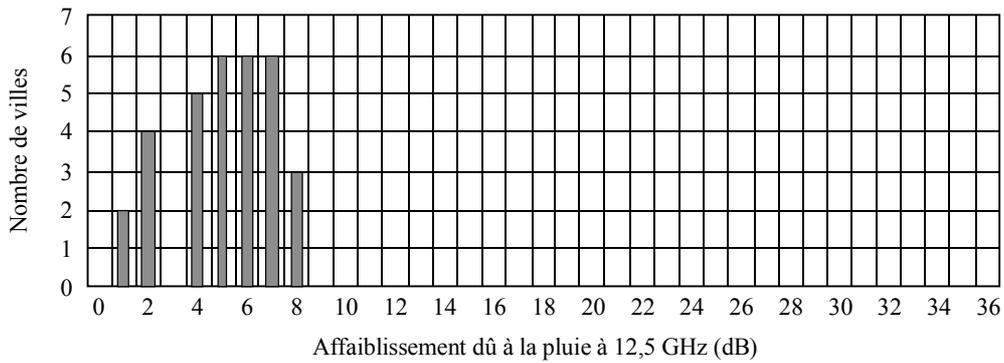
Affaiblissement dû à la pluie pour 0,1% de l'année dans de grandes agglomérations de pays de la Région 1 à 12 GHz et 21,7 GHz



1659-06

FIGURE 7

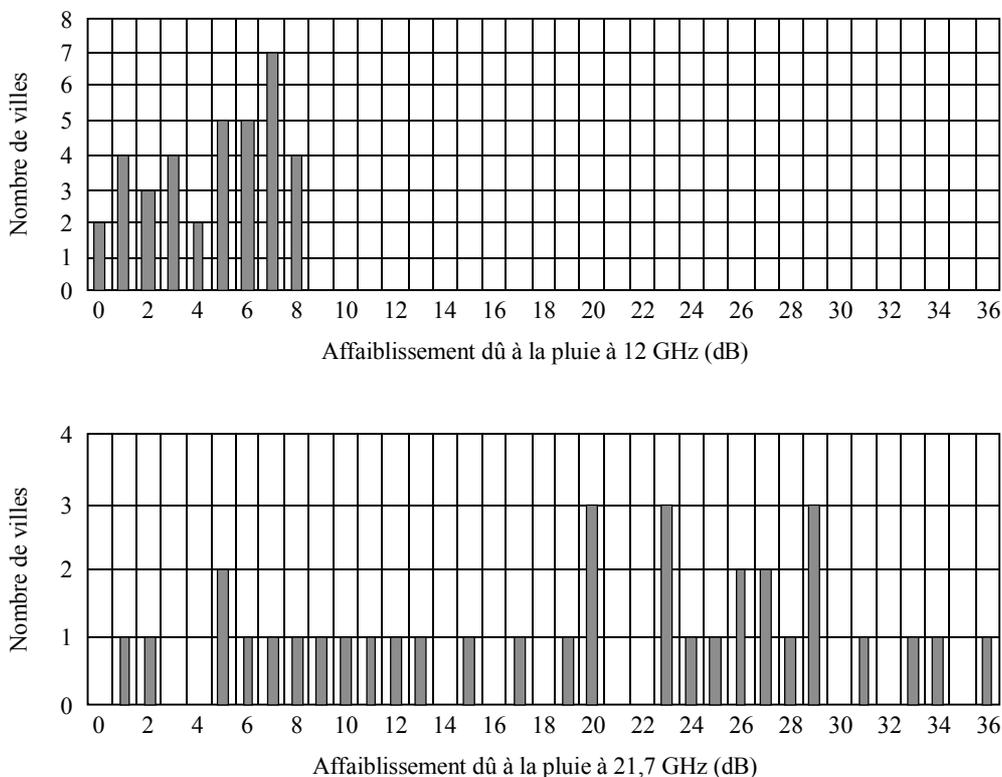
Affaiblissement dû à la pluie pour 0,1% de l'année dans de grandes agglomérations de pays de la Région 2 à 12,5 GHz et 17,5 GHz



1659-07

FIGURE 8

Affaiblissement dû à la pluie pour 0,1% de l'année dans de grandes agglomérations de pays de la Région 3 à 12 GHz et 21,7 GHz



1659-08

TABLEAU 6

Absorption des gaz par l'atmosphère et affaiblissement dû à la pluie dans des villes de la Région 1 à 41,5 GHz

	Pourcentage de temps annuel	Moscou	Londres	Paris	Istanbul
		41,5 GHz			
Absorption atmosphérique	–	1,5 dB	1,5 dB	1,2 dB	1,1 dB
Affaiblissement dû à la pluie	3,0%	2,1 dB	1,7 dB	1,7 dB	1,6 dB
	1,0%	4,3 dB	3,7 dB	3,6 dB	3,5 dB
	0,3%	8,9 dB	7,7 dB	7,5 dB	7,3 dB
	0,1%	15,8 dB	13,7 dB	13,4 dB	13,1 dB

TABLEAU 7

**Absorption des gaz par l'atmosphère et affaiblissement dû à la pluie
dans des villes de la Région 2 à 41,5 GHz**

	Pourcentage de temps annuel	Miami	Rio de Janeiro
		41,5 GHz	
Absorption atmosphérique	–	1,0 dB	0,9 dB
Affaiblissement dû à la pluie	3,0%	6,9 dB	5,0 dB
	1,0%	13,9 dB	10,1 dB
	0,3%	29,9 dB	23,1 dB
	0,1%	50,1 dB	39,0 dB

TABLEAU 8

**Absorption des gaz par l'atmosphère et affaiblissement dû à la pluie
dans des villes de la Région 3 à 41,5 GHz**

	Pourcentage de temps annuel	Tokyo	Kuala Lumpur	Séoul	Bangkok
		41,5 GHz			
Absorption atmosphérique	–	1,3 dB	0,8 dB	1,3 dB	0,9 dB
Affaiblissement dû à la pluie	3,0%	4,4 dB	10,1 dB	2,7 dB	8,9 dB
	1,0%	8,9 dB	19,9 dB	5,7 dB	17,6 dB
	0,3%	17,8 dB	56,0 dB	11,6 dB	43,9 dB
	0,1%	30,8 dB	88,9 dB	20,3 dB	71,3 dB

4 Affaiblissement dû à la pluie et absorption des gaz dans les bandes des liaisons de connexion du SRS

Un calcul analogue a été effectué pour les bandes des 18 et 28 GHz qui sont susceptibles d'être utilisées pour les liaisons de connexion dans les trois Régions ainsi que pour la bande des 25 GHz, qui peut, elle aussi, être utilisée pour les Régions 2 et 3. Les résultats sont indiqués dans les Tableaux 9, 10 et 11.

TABLEAU 9

Absorption des gaz par l'atmosphère et affaiblissement dû à la pluie dans des villes de la Région 1

	Pourcentage de temps annuel	Moscou		Londres	
		18,1 GHz	27,8 GHz	18,1 GHz	27,8 GHz
Absorption atmosphérique	–	0,6 dB	1,0 dB	0,6 dB	1,0 dB
Affaiblissement dû à la pluie	0,3%	2,0 dB	4,7 dB	1,7 dB	4,0 dB
	0,1%	3,8 dB	8,6 dB	3,2 dB	7,4 dB
		Paris		Istanbul	
		18,1 GHz	27,8 GHz	18,1 GHz	27,8 GHz
Absorption atmosphérique	–	0,5 dB	0,8 dB	0,4 dB	0,7 dB
Affaiblissement dû à la pluie	0,3%	1,6 dB	3,9 dB	1,5 dB	3,7 dB
	0,1%	3,1 dB	7,1 dB	2,9 dB	6,9 dB

TABLEAU 10

Absorption des gaz par l'atmosphère et affaiblissement dû à la pluie dans des villes de la Région 2

	Pourcentage de temps annuel	Miami			Rio de Janeiro		
		18,1 GHz	25,0 GHz	27,8 GHz	18,1 GHz	25,0 GHz	27,8 GHz
Absorption atmosphérique	–	0,4 dB	1,1 dB	0,8 dB	0,4 dB	0,9 dB	0,6 dB
Affaiblissement dû à la pluie	0,3%	6,5 dB	13,0 dB	16,0 dB	4,8 dB	9,7 dB	12,0 dB
	0,1%	11,7 dB	22,6 dB	27,5 dB	8,6 dB	17,0 dB	20,8 dB

TABLEAU 11

Absorption des gaz par l'atmosphère et affaiblissement dû à la pluie dans des villes de la Région 3

	Pourcentage de temps annuel	Tokyo			Kuala Lumpur		
		18,1 GHz	25,0 GHz	27,8 GHz	18,1 GHz	25,0 GHz	27,8 GHz
Absorption atmosphérique	–	0,5 dB	1,3 dB	0,9 dB	0,3 dB	0,8 dB	0,6 dB
Affaiblissement dû à la pluie	0,3%	4,0 dB	7,8 dB	9,5 dB	11,6 dB	23,8 dB	29,4 dB
	0,1%	7,3 dB	13,9 dB	16,8 dB	19,7 dB	39,3 dB	48,1 dB
		Séoul			Bangkok		
		18,1 GHz	25,0 GHz	27,8 GHz	18,1 GHz	25,0 GHz	27,8 GHz
Absorption atmosphérique	–	0,5 dB	1,3 dB	0,9 dB	0,4 dB	0,9 dB	0,6 dB
Affaiblissement dû à la pluie	0,3%	2,5 dB	4,9 dB	6,0 dB	8,9 dB	18,4 dB	22,8 dB
	0,1%	4,6 dB	8,9 dB	10,8 dB	15,5 dB	31,0 dB	38,1 dB

5 Disponibilité de service des liaisons descendantes dans la bande des 21 GHz

La Section III de l'Annexe à la Résolution 525 (CAMR-92) spécifie la procédure intérimaire relative aux systèmes opérationnels du SRS (TVHD) mis en oeuvre avant le 1er avril 2007: «... la procédure de la Résolution **33 (Rév.CMR-97)** s'applique si la densité de puissance surfacique produite à la surface de la Terre par les émissions d'une station spatiale sur le territoire de tout autre pays est supérieure à:

- $-115 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une bande quelconque large de 1 MHz pour les angles d'arrivée compris entre 0° et 5° au-dessus du plan horizontal; ou
- $-105 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une bande quelconque large de 1 MHz pour les angles d'arrivée compris entre 25° et 90° au-dessus du plan horizontal; ou
- des valeurs calculées par interpolation linéaire entre ces limites pour les angles d'arrivée compris entre 5° et 25° au-dessus du plan horizontal.»

A supposer que la puissance surfacique est fixée à la valeur de coordination, on a calculé la disponibilité de service du système du SRS. Un diamètre d'antenne de réception de 45 cm a été pris comme hypothèse.

Des schémas de modulation MDP-4, MDP-8 et MAQ-16 sont envisagés pour le système. Le rapport C/N requis du système varie en fonction de la modulation et du codage, ce qui suppose un compromis entre la disponibilité de service et l'efficacité de l'utilisation des fréquences.

Les pourcentages de temps d'une année moyenne pendant lesquels le rapport C/N dépasse les valeurs de 7,5 dB, 10,7 dB et 17,0 dB sont indiqués dans les Tableaux 12 et 13.

Dans les Tableaux 12 et 13 on adopte par l'hypothèse les valeurs suivantes: un rapport C/N requis de 7,5 dB pour la MDP-4 (3/4) et un rapport C/N de 10,7 dB requis pour la modulation MDP-8CT, y compris une marge de mise en oeuvre du matériel et une marge d'affaiblissement du matériel de satellite par rapport à la largeur de bande de bruit de Nyquist.

TABLEAU 12

Disponibilité de service des liaisons descendantes du SRS dans la bande des 21 GHz dans des villes de la Région 1 (pourcentage de temps annuel)

		Moscou	Londres	Paris	Istanbul
Angle d'élévation (degrés)		26,5	23,2	33,2	40,7
Puissance surfacique (dB(W/(m ² · MHz)))		-105,0	-105,9	-105,0	-105,0
C/N total	7,5 dB	99,99%	99,99%	99,99%	99,99%
	10,7 dB	99,99%	99,99 %	99,99%	99,99%
	17,0 dB	99,95%	99,95%	99,97%	99,97%

TABLEAU 13

**Disponibilité de service des liaisons descendantes du SRS dans la bande des 21 GHz
dans des villes de la Région 3 (pourcentage de temps annuel)**

		Tokyo	Kuala Lumpur	Séoul	Bangkok
Angle d'élévation (degrés)		38,0	77,4	44,9	73,5
Puissance surfacique (dB(W/(m ² · MHz)))		-105,0	-105,0	-105,0	-105,0
<i>C/N</i> total	7,5 dB	99,96%	99,71%	99,99%	99,82%
	10,7 dB	99,94%	99,60%	99,98%	99,73%
	17,0 dB	99,83%	99,27%	99,93%	99,40%

Les schémas de modulation les plus efficaces en fréquence, comme la modulation MAQ-16, s'appliquent à un futur système du SRS qui pourra utiliser totalement la bande de fréquences. Toutefois, le rapport *C/N* requis des schémas de modulation est plus élevé que pour la modulation MDP-8CT. De plus, il est vulnérable à la non-linéarité des répéteurs du satellite. Un rapport *C/N* requis de 17,0 dB a été choisi à titre provisoire.

Pour les villes de la Région 1 indiquées au Tableau 12, le pourcentage de temps annuel pour le rapport *C/N* de 17,0 dB est supérieur à 99,95%. En revanche, pour les villes dont les taux de précipitation sont plus élevés (Tableau 13), le pourcentage de temps annuel pour un rapport *C/N* de 17,0 dB varie entre 99,27 et 99,93%.

Dans le SRS fonctionnant dans la bande des 21 GHz, l'évanouissement beaucoup plus important dû à la pluie devrait être compensé de façon que la disponibilité de service soit semblable à celle qui est obtenue pour la bande des 12 GHz. Dans la conception d'un satellite traditionnel, l'affaiblissement est considéré comme marge dans la détermination de la p.i.r.e. Par conséquent, le système a besoin de très grands satellites et d'une puissance surfacique élevée par temps clair, paramètres qui peuvent être jugés non économiques.

Par conséquent, pour mettre en oeuvre un système du SRS avec un satellite de coût abordable, il faut procéder à des mesures efficaces pour compenser l'affaiblissement dû à la pluie.

6 Conclusion

Dans cet Appendice il a été démontré ce qui suit:

- les valeurs de l'affaiblissement dû à la pluie et de l'absorption des gaz par l'atmosphère dans les bandes des 17/21 GHz ainsi que dans les bandes du SRS à 42 GHz sont nettement plus élevées que les valeurs observées dans la bande des 12 GHz;
- s'agissant de la conception d'un système à satellites traditionnel, la valeur de p.i.r.e. tient compte des marges de la liaison, afin de répondre aux objectifs de disponibilité. Par ailleurs, il se peut que la p.i.r.e. requise soit trop élevée pour permettre la faisabilité d'un système à satellites;
- compte tenu des conditions de propagation, il faudra peut-être utiliser des techniques de compensation appropriées de l'affaiblissement dû à la pluie pour faciliter l'introduction de systèmes réalisables du SRS dans les bandes de fréquences supérieures.