

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R F.755-2
(05/1999)

**Systemes point à multipoint utilisés
dans le service fixe**

Série F
Service fixe



Union
internationale des
télécommunications

Avant-propos

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

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

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

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

Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

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

Publication électronique
Genève, 2010

© UIT 2010

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

RECOMMANDATION UIT-R F.755-2^{*, **}

SYSTÈMES POINT À MULTIPPOINT UTILISÉS DANS LE SERVICE FIXE

(1992-1994-1999)

Champ d'application

La présente Recommandation traite des systèmes point à multipoint, notamment les principes de fonctionnement et les principales caractéristiques de système des applications haute densité du service fixe dans la bande 25-32 GHz. On y trouvera en outre des informations techniques sur les systèmes point à multipoint fonctionnant à 3,5 GHz, 10,4 GHz, 26/28 GHz et 32 GHz.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que différents services, applications et scénarios de déploiement font appel à des configurations de systèmes point à multipoint (P-MP) également différents;
- b) que les systèmes P-MP du service fixe sont utilisés dans diverses bandes de fréquences, selon les services assurés et le scénario de déploiement considéré;
- c) que l'on peut minimiser les brouillages et optimiser l'utilisation du spectre grâce à un contrôle satisfaisant des émissions, des techniques d'accès appropriées et une modulation efficace;
- d) que les systèmes P-MP peuvent offrir une qualité de fonctionnement et répondre à des objectifs de disponibilité comparables à ceux des systèmes filaires;
- e) que les systèmes P-MP utilisent habituellement des antennes équidirectives ou des antennes sectorielles ou encore des antennes à faisceaux multiples dans la station centrale et des antennes directives dans les stations terminales et/ou dans les répéteurs;
- f) que les diverses applications sont adaptées aux différentes parties du spectre, en fonction de la capacité, de la zone de couverture, de la longueur du trajet et de l'emplacement (zone rurale, banlieue, zone urbaine, etc.);
- g) que les systèmes P-MP conviennent aux configurations à haute densité;
- h) qu'il est nécessaire de préciser les caractéristiques d'exploitation des systèmes P-MP afin de déterminer des critères appropriés pour ce qui est des brouillages dans un même service ou entre services,

recommande

- 1** de se référer à la Recommandation UIT-R F.1103 pour les systèmes P-MP utilisant les techniques d'accès multiple par répartition dans le temps (AMRT), employés comme concentrateurs radioélectriques;
- 2** de se référer aux Recommandations UIT-R F.701, UIT-R F.1098, UIT-R F.1242 et UIT-R F.1243 pour les dispositions de canaux radioélectriques dans le cas de systèmes radioélectriques P-MP analogiques et numériques fonctionnant dans des bandes de fréquences comprises entre 1 427 et 2 690 MHz;
- 3** qu'en ce qui concerne les services de distribution vidéo multipoint à un seul canal ou à plusieurs canaux, on peut se référer à l'Annexe 1 pour la description d'une utilisation particulière;
- 4** que, pour des systèmes radioélectriques par paquets, on peut se référer à l'Annexe 2 pour certains exemples précis;
- 5** que, pour des systèmes AMRT utilisés pour la transmission de données, notamment dans les zones urbaines, on peut se référer à l'Annexe 3 pour des informations concernant divers systèmes;
- 6** que l'on peut se référer à la Recommandation UIT-R F.697 pour certains besoins des systèmes P-MP utilisés dans la partie à qualité locale d'une connexion RNIS;

* Cette Recommandation doit être portée à l'attention des Commissions d'études 3 et 7 des radiocommunications.

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

7 pour ce qui est des critères de qualité de fonctionnement des systèmes P-MP utilisés pour offrir à l'utilisateur final une connexion à un débit égal ou supérieur au débit primaire, de se référer à la section accès du tronçon national de la Recommandation UIT-R F.1668;

8 de se référer à l'Annexe 4 pour les applications des systèmes P-MP à accès multiple par répartition en fréquence (AMRF) exploités dans les bandes de fréquences 3,4-3,6 GHz, 3,6-3,8 GHz, 10,15-10,3 GHz associée à la bande 10,5-10,65 GHz, 26/28 et 32 GHz;

9 de se référer à l'Annexe 5 pour les aspects techniques et opérationnels applicables à la gamme de fréquences 25-32 GHz;

10 de se référer aux Annexes 1 et 2 de la Recommandation UIT-R F.748 pour ce qui est de la disposition des canaux radioélectriques des systèmes P-MP numériques exploités dans les bandes de fréquences des 26 et 28 GHz.

ANNEXE 1

Exemple de services de distribution multipoint à canal unique ou à plusieurs canaux

1 Description du système

Le service de distribution multipoint (MDS, *multipoint distribution service*) assure la transmission unidirectionnelle P-MP, à environ 2 GHz, de 4 canaux, au maximum, de signaux téléphoniques, vidéo ou de données sur certaines collectivités géographiquement disséminées. Ces signaux peuvent être utilisés pour des programmes de variétés, à des fins commerciales, sociales ou communautaires. Un système MDS typique est constitué, côté émission, d'une antenne d'émission équidirective, d'un combineur qui associe les sorties de chaque émetteur et côté réception, d'une antenne de réception directive, d'un changeur abaisseur de fréquence et d'un récepteur vidéo. La puissance d'émission est généralement limitée (normalement la p.i.r.e. est de 200 W) et on utilise d'ordinaire une antenne dont le diagramme de rayonnement est équidirectif ou en forme de cardioïde avec des gains de 10 à 16 dBi. Dans certains cas, on utilise des couples d'antennes placées dos à dos et ayant des diagrammes de rayonnement en forme de cardioïde, ces antennes étant alimentées par un seul émetteur. Le signal reçu subit un changement de fréquence qui convertit la fréquence émise en une fréquence d'un canal non utilisé, compatible avec le récepteur vidéo.

Au MDS à plusieurs canaux, on associe à chaque canal à bande étroite (125 kHz de largeur de bande) pour permettre une liaison audio de retour vers le site d'émission.

Un plan de fréquence type pour MDS à quatre canaux fonctionnant dans la bande des 2,5 GHz avec une largeur de bande d'émission de 6 MHz au maximum est donné ci-après:

Fréquence d'émission

$$f_n = f_0 - 128 + 24 m + 12 n \text{ pour } m = 1, 3, 5, 7$$

$$f_n = f_0 - 146 + 24 m + 12 n \text{ pour } m = 2, 4, 6$$

Fréquences de liaison de retour

$$f_n = f_0 + 89,9375 + 0,125 m + n$$

où:

f_0 : fréquence du centre de la bande = 2 595 MHz

m : numéro de groupe = 1, 2, 3, . . . , 7

n : numéro de canal = 1, 2, 3, 4.

Le système choisi pour le MDS a été conçu de manière à permettre à des émetteurs dont l'emplacement aurait été fixé de façon aléatoire de réutiliser de manière optimale le même canal ou le canal adjacent aussi souvent que possible et d'assurer une zone protégée aussi vaste que possible autour de chaque emplacement d'émission. Cette conception nécessite un compromis entre une puissance élevée d'émission et l'utilisation d'une antenne de réception à gain élevé et oblige à limiter le service aux seuls emplacements de réception dont les trajets vers l'emplacement d'émission sont en visibilité directe.

Les spécifications techniques d'un système P-MP type fonctionnant dans la bande des 2,5 GHz utilisé pour le MDS sont données dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

Émetteur		Récepteur	
Modulation	BLR/MA	Caractéristiques de l'antenne	Rec. UIT-R F.699
Gain d'antenne (dBi) (par rapport à l'antenne équidirective)	13	Gain d'antenne (dBi)	20
Puissance de l'émetteur (dBW)	10	Facteur de bruit (dB)	8
p.i.r.e. (dBW)	23	Hauteur typique de l'antenne du récepteur (m)	9,1
Type de signal	TV	Porteuse/brouillage (dB) (en l'absence d'évanouissement)	45

2 Considérations relatives au brouillage

2.1 Zone protégée

Dans le MDS, les récepteurs sont protégés contre les brouillages préjudiciables s'ils sont installés dans la zone protégée autour de leur station émettrice associée. La zone protégée est définie par la distance maximum à partir de l'émetteur à laquelle un signal fiable est reçu. Cette distance maximum dans la zone de propagation la plus défavorable du continent nord-américain est de 25 km pour un emplacement d'émission dont la p.i.r.e. est de 200 W et un convertisseur-abaisseur de fréquence dont le facteur de bruit est de 10 dB. On définit un signal fiable à cette fin comme un signal suffisant pour assurer un rapport signal/bruit de 23 dB ou mieux pendant 99,9% du temps.

Pour les stations utilisant une antenne d'émission directive, la distance de protection, D_b , à partir de l'émetteur peut être calculée par la relation suivante:

$$D_b = D_{bmax} \cdot 10^{-\frac{(G_{max} - G)}{20}}$$

où:

D_{bmax} : distance dans la direction du gain d'antenne maximum (km)

G_{max} : gain maximum d'antenne (dBi)

G : gain d'antenne dans la direction considérée (dBi).

Pour des antennes directives ou non directives, la distance maximum de protection est de plus limitée à l'horizon radio-électrique, en supposant une hauteur de réception standard de 9 m.

2.2 Brouillage dans le même canal

On vérifie la réutilisation des fréquences dans une zone en s'assurant que le rapport porteuse/brouillage C/I , dû au brouillage dans le même canal, est supérieur à 45 dB.

Avec ce C/I , on assure aux récepteurs du service une protection raisonnable contre les brouillages sans trop restreindre l'aptitude des nouvelles stations à desservir des zones non desservies.

Ce rapport C/I est obtenu dans la pratique grâce à la discrimination angulaire et au découplage de polarisation croisée de l'antenne de réception. L'antenne particulière prise pour référence sert à déterminer dans quelle mesure on peut, dans une zone donnée, réutiliser les mêmes fréquences. Pour ces calculs de C/I , on a pris une antenne parabolique de 0,6 m de diamètre. Dans certains cas, lorsque l'antenne de réception réelle est plus performante, c'est d'elle que l'on part pour calculer le C/I .

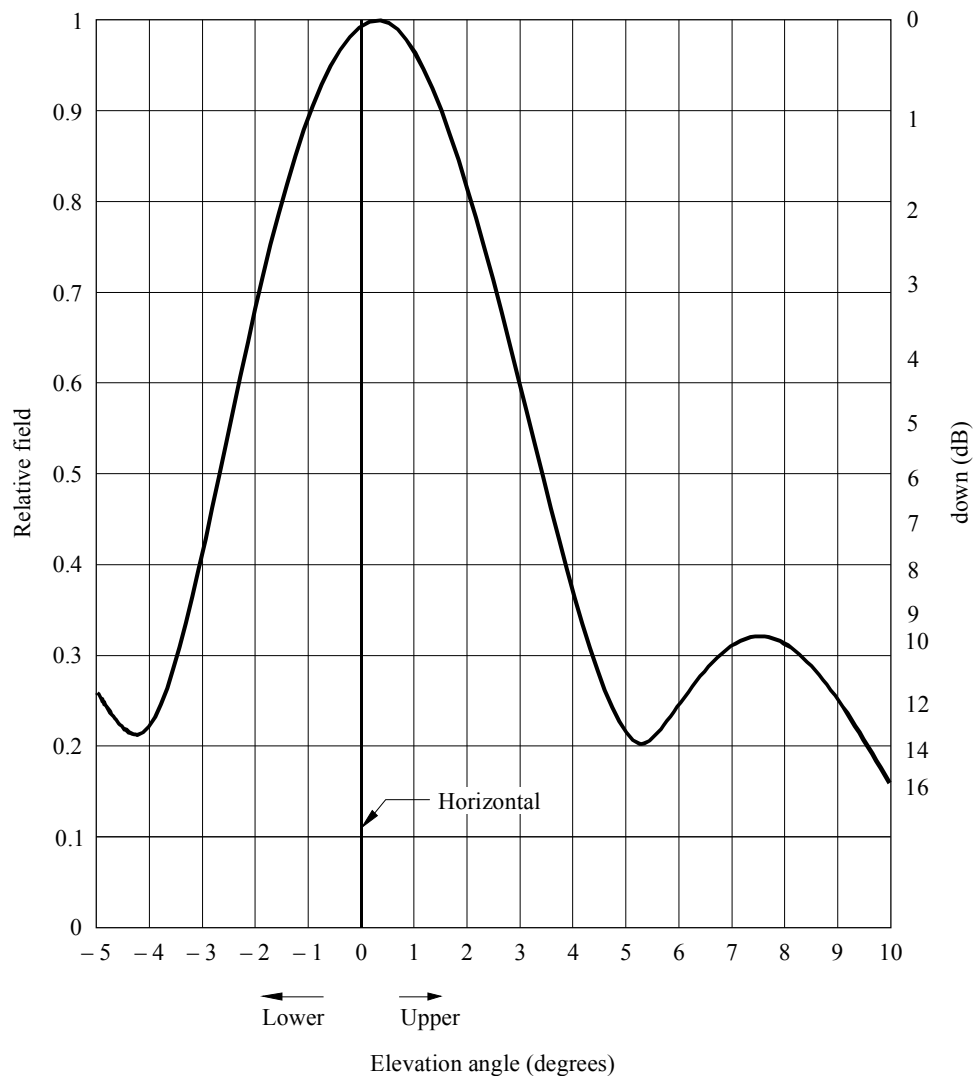
2.3 Brouillage dans le canal adjacent

On se prémunit contre le brouillage dans le canal adjacent en veillant à ce que non seulement l'emplacement d'émission, mais aussi l'emplacement de réception MDS répondent à certaines conditions. Un objectif de 0 dB pour le rapport C/I a été choisi pour cette condition. Pour aider à satisfaire à cette condition, on encourage la pratique qui consiste à placer les antennes d'émission des deux stations MDS desservant la même région aussi près l'une de l'autre (séparation de 0,5 km ou moins) et à transmettre en polarisation croisée mais avec des signaux de puissance égale. Les effets de la propagation sur la stabilité de la polarisation dans la bande des 2 GHz nécessitent un supplément d'étude.

2.4 Considérations relatives au partage

Le diagramme de rayonnement dans le plan vertical d'une antenne d'émission équidirective type utilisée avec un système P-MP à 2,5 GHz est donné à la Fig. 1. Il convient de se référer à la Fig. 1 et au Tableau 1 pour déterminer les conditions de partage avec d'autres services.

FIGURE 1
Typical transmit antenna pattern in the vertical plane



ANNEXE 2

Exemples de systèmes de radiocommunication par paquets**1 Introduction**

La présente Annexe décrit la technologie et les systèmes de radiocommunication par paquets. Les techniques de radiocommunication par paquets sont désormais utilisées avec succès dans un certain nombre de pays.

2 Application du système

Les systèmes de ce type fonctionnent le plus efficacement lorsqu'ils doivent traiter un trafic de données sous la forme de rafales. Les systèmes fonctionnant en dessous de 1 GHz, transmettent des faibles débits, jusqu'à 9,6 kbit/s. Au-dessus de 1 GHz, des plus hauts débits peuvent être utilisés. Par exemple, un réseau de radiocommunication par paquets donne la possibilité d'interconnexion dans un réseau de communications informatisé. Les communications peuvent se faire entre des ordinateurs centraux et des terminaux d'utilisateurs ainsi qu'entre des terminaux d'utilisateurs.

En outre, ces systèmes sont souvent installés dans des zones non urbaines où le coût de mise en place de nouveaux câbles entre le nœud d'abonné et l'installation du réseau la plus proche peut s'avérer excessif. Dans d'autres cas, le manque permanent de liaisons filaires peut rendre ces systèmes particulièrement intéressants dans les zones urbaines.

3 Description du système

Le principe fondamental de la radiocommunication par paquets est que les données sont transmises par paquets. On a conçu des systèmes AMRT et des systèmes à accès multiple à détection de porteuse (AMDP). Ces systèmes assurent l'accès simultané à un canal radioélectrique soit par un protocole AMDP soit par un protocole AMRT et qui permettent à une station de fonctionner à la manière d'un répéteur avec enregistrement et retransmission, assurant le traitement du trafic des stations situées assez loin du site central. On peut aussi utiliser des répéteurs régénérateurs «duplex» à deux fréquences pour obtenir davantage de souplesse dans la conception du système.

L'acheminement des paquets est assuré par la commutation des paquets; on utilise en outre des techniques de correction d'erreur très perfectionnées et à chaque bloc de données on peut associer un contrôle cyclique de redondance CRC-16 qui porte sur la somme (référence: norme X.25 de l'UIT-T). Pour obtenir des taux d'erreur binaires (TEB) extrêmement faibles (meilleurs que 1×10^{-11}) sur la transmission de grands blocs de données, on peut utiliser dans chaque bloc plusieurs contrôles cycliques de redondance CRC-16. Dans les systèmes de transmission de données P-MP, on a observé que les techniques de retransmission des blocs sont supérieures à celles qui utilisent la correction d'erreur directe (CED).

Étant donné que les systèmes de transmission de données par paquets ne fonctionnent pas en temps réel, en raison des temps de remplissage, on peut utiliser des techniques particulières visant à réduire au minimum les temps globaux de transmission, comme par exemple, une technique dans laquelle l'émission commence avant la réception complète du paquet et où on utilise des débits de transmission du réseau très élevés (4,8 à 9,6 kbit/s). En réalité, le fait de ne pas être un processus en temps réel, présente des avantages importants en ce qui concerne la conservation du spectre puisque les données sont envoyées à la vitesse la plus élevée possible dans le réseau, même si le terminal destinataire est lent.

Dans une configuration de système AMRT, la gestion du réseau est assurée par un organe appelé «station». Une telle station dispose d'un certain nombre d'unités de radiocommunication et détermine les connexions à effectuer entre les liaisons du réseau. Dans des environnements composés d'organes fixes, voire mobiles, chaque unité de radiocommunication évalue les possibilités de connexions des liaisons, met en mémoire les informations et les communique à la station. À l'aide de ces données, la station établit la connexion finale du réseau. L'architecture du réseau peut varier et inclure des configurations sans stations ou une configuration de radiodiffusion.

4 Efficacité et techniques de modulation

Les systèmes AMDP ont l'avantage de pouvoir utiliser les émetteurs-récepteurs normalisés employés dans le service mobile terrestre à modulation de fréquence. Cela fournit la capacité suffisante pour acheminer jusqu'à 9,6 kbit/s de données avec un TEB de 1×10^{-6} pour un niveau de réception de -107 dBm. Des mesures ont montré que, dans un système AMDP bien conçu, on peut utiliser jusqu'à 40% de la capacité des canaux. La capacité en canaux des systèmes AMDP fonctionnant entre 130 et 960 MHz est indiquée au Tableau 2.

TABLEAU 2

Capacité en canaux des systèmes AMDP

Nombre moyen de caractères pour les messages	Messages/minute/utilisateur	Nombre maximal d'utilisateurs	Temps de transmission moyen par message (s)
60	30	16	0,26
60	20	28	0,24
60	10	52	0,23
60	5	100	0,23
60	2,5	240	0,23
60	1	400	0,22

Lorsque le nombre de messages/minute/utilisateur augmente, (par exemple pour atteindre 30 messages/minute/utilisateur) le trafic peut alors ne plus être considéré comme se présentant sous la forme de rafales et il se peut qu'un autre type de système convienne mieux.

Il a été proposé pour un système AMRT dans la bande des 2 GHz d'utiliser la modulation par étalement du spectre, séquence directe et modulation par déplacement minimal (MDM) de la fréquence porteuse. Cette technique peut réduire au minimum le brouillage causé aux autres systèmes qui partagent la même fréquence et les mêmes bandes de fréquences tout en permettant à la radiodiffusion par paquets de rejeter le brouillage et de fonctionner de manière satisfaisante avec un rapport signal/brouillage inférieur à celui d'un récepteur analogique. Toutefois, l'équipement d'étalement du spectre est généralement plus complexe et plus coûteux que les récepteurs analogiques.

5 Résumé

Des systèmes de radiocommunication par paquets utilisant les techniques AMRT et AMDP ont permis d'obtenir des performances très intéressantes et une transmission efficace du trafic de données.

ANNEXE 3

Systèmes P-MP utilisant les techniques AMRT pour la transmission de données dans les zones urbaines

1 Introduction

Les principes généraux des systèmes P-MP utilisant l'AMRT sont examinés dans l'Annexe 1 à la Recommandation UIT-R F.756.

Cette technique s'est considérablement développée depuis quelques années et sert à assurer des terminaisons numériques dans les zones urbaines.

Les principes et applications des systèmes P-MP qui utilisent les techniques AMRT pour la fourniture de services de données dans les zones urbaines sont examinés dans la présente annexe et les caractéristiques d'un certain nombre de systèmes sont résumées dans les Tableaux 3a et 3b.

TABLEAU 3a
Exemples de caractéristiques de systèmes radioélectriques P-MP utilisant les techniques AMRT
 (Fréquence au-dessous de 3 GHz)

Système	150, 450, 800 MHz	890 à 960 MHz	1,5; 2,4 et 2,6 GHz		1,5 et 2,4 GHz	1,5 à 2,6 GHz	2 GHz
1. Capacité d'un canal radioélectrique (type) (kbit/s)	2 × 32 ou 4 × 16	64 × 1,2	10 × 64	30 × 64	30 × 64	60 × 64	48 × 64
2. Débit binaire composite (kbit/s)	26 × 64	240	832	2 304	2 432	4 864	3 088
3. Méthode de modulation	MDP-16-D	MDP-4 avec décalage	MDF-2	MDP-4	MDP-4	MDP-4 avec décalage	MDP-4
4. Antenne de la station centrale (SC)	Equidirective: gain jusqu'à 10 dBi ou Yagi	Equidirective ou à faisceau large: gain 10 dBi	Equidirective: gain 10 dBi Yagi: gain 16-21 dBi Cornet: gain 13 dBi		Equidirective ou à faisceau large: gain 10 dBi	Equidirective ou à faisceau large: gain 10 dBi	Faisceau large (45°): gain: voir la Fig. 4 du Rapport 1057 (Düsseldorf, 1990)
5. Antenne de la station d'extrémité (SE)	Yagi: gain 10 dBi	Yagi Boucle: gain 20 dBi	Yagi: gain 16-21 dBi Cornet: gain 13 dBi		Yagi: gain 17 dBi à 1,5 GHz Parabolique: gain 22 dBi à 1,5 GHz 27 dBi à 2,4 GHz	Conique: gain 17 dBi	Parabolique (φ ≥ 1,2 m)
6. Débits binaires des usagers (kbit/s)	jusqu'à 1,2	1,2-64	64	1,2-19,2 64 144 (RNIS)	a) Jusqu'à 9,6 b) Norme: 64	2,4-64	64-1 544
7. Attribution des usagers	Attribution fixe ou à la demande	Attribution fixe	Attribution fixe ou à la demande		Attribution fixe ou à la demande	Attribution fixe ou à la demande	Attribution fixe
8. Portée (km)	jusqu'à 60	jusqu'à 30	jusqu'à 70		jusqu'à 50	jusqu'à 72	jusqu'à 50

TABLEAU 3b

Exemples de caractéristiques de systèmes radioélectriques P-MP utilisant les techniques AMRT
(Fréquence au-dessus de 3 GHz)

Système	10,5 GHz	19 GHz	23 GHz	26 GHz	26 GHz
1. Capacité d'un canal radioélectrique (type) (kbit/s)	30 × 64	90 × 64 47 × 144 (2B+D)	10 × 64	192 × 64	96 × 64
2. Débit binaire composite (kbit/s)	2 100	8 192	832	14 300	4 × 2 048
3. Méthode de modulation	MDP-4	MDF-2	MDA-2	MDF (SC-SE) MDFD (SE-SC)	MDF-2
4. Antenne de la station centrale (SC)	Faisceau large (90° ou 120°): gain 13 dBi	Faisceau large (90° ou 120°): gain 18 dBi	Faisceau large (90° ou 120°): gain 10 à 15 dBi	Faisceau large (90°): gain 20 dBi	Faisceau large (90°): gain 20 dBi
5. Antenne de la station d'extrémité (SE)	Parabolique: gain 34 dBi	Parabolique: gain 35 dBi	Parabolique: gain 35 dBi	Cassegrain: gain 35 à 47 dBi	Parabolique: gain 30 dBi
6. Débits binaires des usagers (kbit/s)	64 D'autres débits sont disponibles	12,8 et 64 à l'origine pouvant être étendus pour inclure les débits du RNIS de 80 ou 144	64	64-6 144	64
7. Assignation des usagers	Assignation fixe ou à la demande	Assignation fixe ou à la demande	Assignation fixe ou à la demande	Assignation fixe	Assignation à la demande
8. Portée (km)	jusqu'à 10	jusqu'à 10	jusqu'à 5	jusqu'à 7	jusqu'à 2

2 Principes de fonctionnement

Les principes de fonctionnement sont examinés dans l'Annexe 1 à la Recommandation UIT-R F.756, notamment en ce qui concerne les concentrateurs radioélectriques. Toutefois, tous les systèmes P-MP utilisant l'AMRT se conforment aux mêmes principes de transmission fondamentaux. Les signaux de données sont émis par la station centrale dans un format multiplexé par répartition dans le temps (MRT), utilisant l'entrelacement des éléments binaires ou des octets. L'information aux diverses stations d'extrémité est transmise séquentiellement. Dans le sens inverse, chaque station d'extrémité se voit attribuer un intervalle de temps pendant lequel elle émet ses informations. Il convient de veiller à ce que les paquets de données arrivent en séquence à la station centrale. On y parvient généralement grâce à une conception minutieuse du système de commande et à une égalisation du temps de propagation absolu. Pour les applications en zone urbaine, les variations du temps de propagation sont courtes par rapport à la période en bauds du système et une égalisation fixée à l'avance suffit généralement. Les Fig. 3 et 4 de la Recommandation UIT-R F.756 représentent schématiquement un système et une disposition de trame AMRT typiques.

En général, la connexion des systèmes P-MP avec le réseau s'effectue à la station centrale et il est préférable que le système P-MP soit transparent au réseau et doté d'interfaces hiérarchiques normalisées. De plus, une interface classique permet à la station centrale d'être située à une certaine distance du point de connexion avec le réseau puisque la liaison avec ce point peut être opérée par des systèmes classiques, radioélectriques ou filaires.

Normalement, le signal régénéré reçu à chaque station d'extrémité est utilisé pour fournir à celle-ci des informations de rythme. L'information de synchronisation pour les émissions en mode salve est fournie par les bits de supervision reçus de la station centrale.

Chaque salve contient donc une information de préambule et par conséquent, de longues salves ayant de longues périodes de trame sont souhaitables pour le fonctionnement efficace du système. Toutefois, cette méthode peut conduire à des retards globaux inacceptables pour un réseau public commuté. Aussi la relation entre l'efficacité de transmission et le temps de transmission autorisé doit-elle être soigneusement examinée.

3 Attribution des fréquences

En règle générale, les systèmes qui acheminent les données vers des stations d'extrémité de zone urbaine utilisent les ondes centimétriques (Tableau 3b). Toutefois, certains systèmes conçus pour la téléphonie rurale ou une utilisation non urbaine à longue portée peuvent acheminer les données comme l'indique le Tableau 3a, et peuvent également servir dans les zones urbaines.

Les systèmes fonctionnant dans les ondes centimétriques doivent avoir un trajet de propagation sans obstacles et libre de tous bâtiments élevés qui risquent de provoquer de nombreuses zones d'ombre. La visibilité du trajet de propagation, définie en pourcentage d'abonnés en visibilité directe à partir de la station centrale, peut être améliorée grâce à une configuration en cellules partiellement superposées avec plusieurs stations centrales. Dans le cas des systèmes fonctionnant en ondes décimétriques et métriques dans les zones rurales, un certain affaiblissement par diffraction est, en général, toléré.

Des études complémentaires, tenant compte des caractéristiques de la propagation en zone urbaine, sont nécessaires pour définir la géométrie optimale à adopter.

4 Antennes

À la station centrale, on peut utiliser une antenne directive ou une antenne équidirective selon les caractéristiques du système et la zone de service requise. Normalement, des antennes directives sont utilisées pour les stations d'abonnés tandis que les stations de répéteurs utilisent une combinaison d'antennes directives et d'antennes équidirectives selon les besoins.

Afin de réduire le plus possible les brouillages, la station d'abonnés peut utiliser des antennes directives orientées vers des groupes de stations d'extrémité. L'ouverture de faisceau doit cependant être assez grande pour couvrir la zone de service requise.

Un rapport avant/arrière élevé est indispensable si l'on veut assurer la réutilisation des fréquences avec d'autres systèmes et obtenir un gain d'antenne important avec des émetteurs de faible puissance auxquels on associe des installations d'alimentation en énergie peu coûteuses.

Pour assurer le rapport signal utile/signal brouilleur correct, on pourra utiliser un commutateur dynamique d'antenne, synchronisé sur la période de récurrence, pour déconnecter l'antenne qui reçoit le signal brouilleur.

5 Configuration des systèmes

L'Annexe 1 à la Recommandation UIT-R F.756 présente les caractéristiques de configuration typiques P-MP, un schéma de principe et une séquence d'intervalles de temps. Ces caractéristiques s'appliquent de la même façon aux systèmes de transmission de données en zone urbaine.

Dans les systèmes les plus simples P-MP, chaque intervalle de temps est assigné à l'avance à une station d'abonnés déterminée qui peut accéder à tout moment à cet intervalle de temps. Cela permet d'assurer un service constant à un abonné et l'efficacité spectrale obtenue est semblable à celle d'un faisceau hertzien numérique P-P équivalent.

Lorsqu'il n'est pas nécessaire que la station d'extrémité soit connectée en permanence à la station centrale, on obtient une utilisation plus rationnelle du spectre en assignant à la demande les intervalles de temps aux stations d'abonnés.

Un système (représenté au Tableau 3b) fonctionne suivant le principe de l'assignation en fonction de la demande avec sélection des fréquences (AMRT-SF), les canaux radioélectriques étant répartis sur différentes fréquences porteuses (en général 4) chacune de faible puissance et ceci pour chaque station d'abonnés. Ce système qui fonctionne à 26 GHz permet d'exploiter 96 canaux radioélectriques ayant un débit de 64 kbit/s chacun et permet de desservir 500 abonnés environ avec une probabilité de perte d'appel égale à 0,01. La commutation de fréquences peut s'effectuer communication par communication, trame par trame, ou salve par salve. Il s'agit d'une méthode qui permet de réduire les problèmes inhérents à l'exploitation de ce système dans la bande des 20-30 GHz et concernant, par exemple, le niveau élevé de la sortie nécessaire dans un système AMRT à porteuse unique ou bien la stabilité de fréquence élevée dans un système SCPC.

Il n'est pas nécessaire d'utiliser le circuit de 64 kbit/s dans sa totalité pour assurer le trafic de données de manière efficace à des débits inférieurs à 64 kbit/s. Avec des techniques multitrames, on peut subdiviser chaque circuit de 64 kbit/s pour augmenter le nombre de circuits de débit inférieur assignés en fonction de la demande et disponibles pour la transmission de données. Les Tableaux 3a et 3b présentent un exemple de ces systèmes respectivement dans la bande 1,5-2,6 GHz et dans la bande des 19 GHz.

Un système (décrit au Tableau 3a) conçu spécialement pour la transmission de données assure la transmission continue de données dans les deux sens entre un maximum de 64 stations éloignées et un nœud central et ceci avec une combinaison quelconque de débits binaires normalisés entre 1,2 et 64 kbit/s et un débit composite total de 76,8 kbit/s dans les deux sens. Afin de simplifier l'équipement radioélectrique et les assignations de fréquence RF, un plan à une seule fréquence est employé pour transmettre à la fois du nœud central vers les abonnés et des abonnés vers ce nœud central en faisant alterner les salves de transmission. Le débit réel de transmission est de 240 kbit/s.

ANNEXE 4

Systèmes P-MP numériques avec accès multiple par répartition en fréquence (AMRF)

1 Introduction

Les systèmes P-MP numériques sont utilisés dans le monde entier, aussi bien en milieu rural que dans les zones suburbaines et urbaines.

Les applications de ces systèmes dépendent essentiellement des services de télécommunication assurés.

En milieu rural, les bandes situées au-dessous de 3 GHz conviennent, sur la base de la Recommandation UIT-R F.746. Les basses fréquences autorisent une couverture très large lorsque l'on prévoit des répéteurs entre la station centrale et les stations terminales. En revanche, les débits binaires d'utilisation sont relativement limités du fait que les bandes de fréquences disponibles sont en général étroites, et en raison des conditions de propagation qui interdisent toute capacité importante. Ainsi, les services proposés sont essentiellement la téléphonie et les services de communication de données à faible débit (il convient de noter par ailleurs qu'en assurant la commutation au niveau des répéteurs et des stations terminales on peut améliorer le rendement global de ces systèmes P-MP ruraux).

Pour les applications concernant les zones suburbaines et le milieu urbain, il faut pouvoir assurer des débits binaires élevés, jusqu'à $n \times 2$ Mbit/s pour le RNIS, ainsi que pour les services Internet et les services de lignes louées, et ce, jusqu'aux stations terminales, pour répondre aux besoins des nouveaux opérateurs de réseau qui font concurrence à l'exploitant en place sur un marché des télécommunications libéralisé. Pour ce type de systèmes P-MP du réseau d'accès, les fonctions de commutation sont assurées dans les principaux centres de commutation, en dehors du réseau d'accès, ce qui permet de réduire le coût de ce dernier et celui des systèmes P-MP.

Les applications, les zones de couverture et les bandes de fréquences étant très diverses, les bandes de fréquences exploitées par les systèmes P-MP dans un réseau d'accès sont à l'heure actuelle comprises entre environ 3 GHz et environ 38 GHz et s'étendront jusqu'à environ 70 GHz ultérieurement, tout particulièrement lorsque l'on envisagera d'utiliser des systèmes P-MP dans les applications haute densité dans le service fixe (HDFS, *high density applications in the fixed service*).

Les systèmes P-MP utilisent différentes méthodes d'accès, par répartition en fréquence, dans le temps ou en code. On distingue ainsi l'AMRF, l'AMRT et l'accès multiple par répartition en code (AMRC).

Le choix de la méthode d'accès dépend de l'application, du service et de la configuration envisagés.

Avec une vitesse d'horloge de traitement des signaux pouvant atteindre 200 MHz, les systèmes P-MP de type AMRF offrent une très grande souplesse pour l'acheminement de signaux de débit binaire pouvant atteindre $n \times 2$ Mbit/s sur les liaisons entre le réseau d'accès et les stations terminales, dans de très bonnes conditions d'économie et de rendement spectral.

Les systèmes AMRF offrent de grandes possibilités d'adaptation, qu'il s'agisse du débit binaire, (de 64 kbit/s jusqu'à $n \times 2$ Mbit/s), du système de modulation, du code CED ou encore de la fréquence porteuse dans le canal radiofréquence. Ainsi, selon les besoins de l'utilisateur, la largeur de bande radiofréquence attribuée à l'opérateur de réseau et la configuration de brouillage dans l'architecture multicellulaire du réseau d'accès, l'opérateur de réseau, avec un système P-MP AMRF, peut attribuer la capacité requise par le client à la demande. Le système AMRF est transparent en ce qui concerne le service et les signaux numériques acheminés, et ses interfaces usager-réseau (UNI) et de nœud de réseau (NNI) sont normalisées par l'UIT-T.

Le système peut fonctionner dans différentes bandes de fréquences avec la même technique de traitement du signal et de traitement de la bande de base, il suffit de choisir la fréquence de l'équipement extérieur en fonction des bandes de fréquences utilisées. Ainsi, on peut mettre en place une architecture de réseau d'accès à couverture suburbaine en

utilisant des bandes de fréquences inférieures à 11 GHz (par exemple 3,4-3,6 GHz, 3,6-3,8 GHz et 10,15-10,65 GHz), avec des longueurs de liaisons, entre la station centrale et les stations terminales, d'environ 10 à 15 km. L'équipement extérieur hyperfréquence de la même station centrale, fonctionnant au-dessus de 11 GHz (par exemple, à 26 ou 28 GHz (voir la Recommandation UIT-R F.748, Annexes 1 et 2) ou encore à 32 GHz pour les applications HDFS) desservira alors, pour la couverture urbaine, des liaisons de l'ordre de 5 km.

En tout état de cause, les systèmes P-MP doivent au moins répondre à des objectifs de qualité de fonctionnement et de disponibilité comparables à ceux des systèmes filaires utilisés dans le réseau d'accès si l'on veut qu'un opérateur de réseau utilisant des moyens d'accès radioélectrique fixes puisse concurrencer l'opérateur en place.

2 Capacité et planification des cellules

Comme nous l'avons déjà vu, la grande souplesse des systèmes AMRF permet de définir des architectures pluricellulaires dans lesquelles un certain nombre de cellules assurent la capacité de trafic nécessaire dans une zone de service donnée et dans un bloc de canaux radioélectriques assigné (par exemple, 28 MHz). Chaque cellule utilise le même bloc de canaux radioélectriques. Les antennes de l'installation extérieure de la station centrale étant de type sectoriel, il est par ailleurs possible d'accroître le trafic par cellule proportionnellement au nombre des secteurs prévus au niveau de la station centrale (par exemple, 4 secteurs). Les secteurs adjacents sont découplés par différenciation de polarisation.

Dans un réseau pluricellulaire, la capacité des liaisons, par cellule, est d'environ 3,8 bit/s/Hz/cellule, dans une configuration à 4 secteurs par cellule.

On peut accroître la capacité des liaisons en accroissant le nombre de secteurs par cellule, jusqu'à 8 secteurs dans les bandes au-dessus de 10 GHz (jusqu'à 6 secteurs envisageables dans la bande des 3,5 GHz). On peut également augmenter la capacité en accroissant le nombre des cellules, ce qui entraîne une réduction du rayon de chaque cellule. Une troisième solution, pour accroître la capacité de trafic dans une zone donnée, consiste à utiliser davantage de blocs de canaux radioélectriques (par exemple, 2×28 MHz). Toutes ces solutions peuvent être combinées, selon la répartition du trafic dans la zone de service considérée, l'accessibilité des sites envisageables pour la station centrale et la disponibilité des blocs de canaux radioélectriques.

La gestion des brouillages entre cellules et dans une même cellule est assurée par adaptation du système de modulation, de la fréquence porteuse de chaque signal émis dans le bloc de canaux radioélectriques, et enfin par la commande automatique de puissance de l'émetteur prévue aussi bien au niveau de la station centrale qu'au niveau des stations terminales. Il est ainsi possible de minimiser les brouillages et d'obtenir un TEB inférieur à 1×10^{-10} par temps clair, ainsi que de respecter les objectifs de qualité de fonctionnement et de disponibilité des réseaux d'accès lorsque les conditions de propagation ne sont pas favorables. La planification informatisée du développement cellulaire du système AMRF permet de disposer des informations requises pour gérer les brouillages pendant les phases d'installation, d'exploitation et d'extension du réseau considéré.

Il convient de noter ici qu'au-dessus de 3 GHz, les conditions de propagation en visibilité directe sont très intéressantes et permettent de respecter les objectifs de qualité de fonctionnement et de disponibilité, d'assurer la qualité de service requise et de gérer les brouillages.

Toujours en raison de la souplesse caractéristique des systèmes AMRF, le chevauchement des configurations cellulaires (secteurs de différentes cellules) peut être facilement géré au niveau de la planification des cellules sans aucune restriction en ce qui concerne la capacité totale d'acheminement du système P-MP.

3 Caractéristiques techniques

3.1 Station centrale et station terminale

Le Tableau 4 regroupe les principales caractéristiques d'une station centrale et d'une station terminale pour différentes bandes de fréquences.

TABLEAU 4

Caractéristiques d'une station centrale et d'une station terminale

Bande de fréquences (GHz)	3,5/3,7	10,4	26/28	32
Puissance totale de l'émetteur (dBW)	-6	-6	-12	-12
Puissance d'une seule porteuse (dBW)	-20	-20	-5	-5
p.i.r.e. totale de l'antenne et valeur angulaire d'un secteur	+8 dBW/60°	+10 dBW/45°	+2 dBW/45°	+2 dBW/45°
Bloc de canaux radioélectriques/ porteuses 2 Mbit/s	Maximum 16/14 MHz	Maximum 33/30 MHz	Maximum 32/28 MHz	Maximum 32/28 MHz
Système de modulation	MDP-4/MCT 8/ MCT 16	MDP-4/MCT 8/ MCT 16	MDP-4/MCT 8/ MCT 16	MDP-4/MCT 8/ MCT 16
Débit binaire par porteuse	64 kbit/s à $n \times 2$ Mbit/s $n < 4$	64 kbit/s à $n \times 2$ Mbit/s $n < 4$	64 kbit/s à $n \times 2$ Mbit/s $n < 4$	64 kbit/s à $n \times 2$ Mbit/s $n < 4$
Niveau de réception (dBW) TEB 1×10^{-3} ; porteuse à 2 Mbit/s				
MDP-4	-130	-130	-125	-124
MCT 8	-129	-129	-124	-123
MCT 16	-123	-123	-118	-117

MCT: multiplexage par compression dans le temps.

La station centrale peut être subdivisée en deux parties, à savoir tout d'abord l'équipement intérieur de la station de base, qui assure le traitement du signal en bande de base et la gestion centrale, et l'équipement extérieur qui regroupe l'émetteur-récepteur et l'antenne sectorielle intégrée (antenne plane).

La station terminale peut être mécaniquement analogue, et comprendre un équipement intérieur (modem) et un équipement extérieur doté d'une antenne plane à faisceau étroit intégrée pour les bandes utilisées ou d'une antenne parabolique pour les bandes au-dessus de 20 GHz (liaisons longues).

Les formules suivantes permettront de calculer les niveaux de réception dans le cas de porteuses acheminant des débits binaires autres que la valeur de 2 Mbit/s prise comme hypothèse au Tableau 4.

Pour MDP-4: niveau de réception (dBW(pour un TEB de 1×10^{-3})) = $X + 10 \log_{10} b$

Pour MCT 8: niveau de réception (dBW(pour un TEB de 1×10^{-3})) = $Y + 10 \log_{10} b$

Pour MCT 16: niveau de réception (dBW(pour un TEB de 1×10^{-3})) = $Z + 10 \log_{10} b$

où b est le débit binaire (Mbit/s).

Les valeurs de X , Y et Z pour les différentes bandes de fréquences sont indiquées au Tableau 5.

TABLEAU 5

Valeurs de X , Y et Z (voir les équations ci-dessus)

	3,5/3,7 GHz	10,4 GHz	26/28 GHz	32 GHz
X	-133	-133	-128	-127
Y	-132	-132	-127	-126
Z	-126	-126	-121	-120

Lorsque le TEB est de 1×10^{-6} , les valeurs de niveau de réception sont plus élevées de 2,5 dB.

3.2 Caractéristiques des antennes

Dans un système P-MP, au niveau de la station centrale, les antennes utilisées pour le réseau d'accès desservant les zones suburbaines et urbaines sont essentiellement des antennes sectorielles, qui offrent par cellule une capacité d'acheminement suffisante.

Pour améliorer le découplage, dans le cas de secteurs adjacents, on peut différencier la polarisation (voir l'Annexe 4, § 2).

Différentes valeurs d'angle de secteur (ouverture du faisceau à $-X$ dB), par exemple 15°, 45°, 60°, 90° et 120°, permettent d'adapter la couverture cellulaire au trafic et à la répartition des stations terminales dans une même cellule. Une antenne de 15° permettra, par exemple, d'établir des liaisons relativement longues avec des stations terminales périphériques voisines les unes des autres. Une combinaison judicieuse de secteurs de diverses valeurs d'ouverture de faisceau dans une même cellule permettra également d'adapter le système à la répartition des sites d'installation des stations terminales.

Le gain d'une antenne sectorielle dépend essentiellement de l'ouverture du secteur. Le Tableau 6 donne les valeurs types correspondant à certaines ouvertures sectorielles, avec des antennes planes.

TABLEAU 6
Types de gain d'antennes sectorielles

Largeur type d'un secteur (azimut) (degrés)	Gain type (dBi)	Ouverture de faisceau type en élévation (degrés)
15	18	7
45	15	7
60	12	15
90	12	7
120	9	15

On peut orienter vers le sol les antennes de la station centrale pour réduire les brouillages occasionnés à d'autres cellules, mais au prix de la longueur maximale des liaisons. Par ailleurs, compte tenu de l'ouverture du faisceau en élévation, il faut également calculer soigneusement le bilan des liaisons établies avec les stations terminales proches de la station centrale, qui, en raison de la caractéristique d'ouverture en élévation du faisceau de la station centrale, peuvent être hors d'atteinte de ce faisceau.

Le faisceau de l'antenne de la station terminale étant étroit, le gain dépend ici essentiellement de la fréquence et du dimensionnement. On trouvera ci-après des valeurs types de gain d'antennes planes.

TABLEAU 7

Valeurs types de gain d'antennes planes de station terminale

Bande de fréquences (GHz)	Valeur de gain type (dBi)
3,5/3,7	17
10,4	25
26/28	28
32	30

Au niveau de la station terminale, on pourra également envisager d'utiliser dans certains systèmes P-MP, des antennes spécifiquement prévues pour des faisceaux hertziens point-à-point, tout particulièrement lorsqu'il est nécessaire, dans des bandes de fréquences supérieures à 10 GHz de prévoir des longueurs de bond importantes entre la station centrale et la station terminale.

ANNEXE 5

 Systèmes P-MP dans la bande de fréquences 25-32 GHz**1 Introduction**

Les systèmes P-MP à haute densité sont des systèmes radioélectriques fixes utilisés avec des stations de Terre pour la fourniture de divers services: voix, vidéo et données. Le plus souvent, ils interviennent dans des réseaux de distribution commerciaux ou résidentiels, remplaçant les câbles coaxiaux, les fibres optiques ou les câbles métalliques sur les derniers kilomètres de l'infrastructure.

Les paramètres techniques de ces systèmes sont déterminés d'après les marges de liaison indiquées dans les Tableaux 4 à 9. Il convient de noter ici que la puissance maximale d'émission de la station centrale peut être adaptée, en fonction des conditions géographiques, d'après les objectifs de qualité de service.

Les liaisons présentent un TEB au moins égal à 1×10^{-8} par temps clair et à 1×10^{-6} dans des conditions de propagation défavorables, et les critères de disponibilité sont respectés pendant la quasi-totalité de l'année (ce qui revient à dire que par temps clair les porteuses sont exploitées avec une marge suffisante pour que le critère applicable soit respecté). Ces valeurs de TEB sont rendues possibles par la p.i.r.e. spécifiée et les techniques CED (3/4) à codage convolutif et décodage de Viterbi. On peut également adopter un codage 1/2 ou 7/8, respectivement pour des valeurs de marge inférieures ou supérieures.

En ce qui concerne les antennes, on retient les hypothèses suivantes. Le faisceau principal de l'antenne de la station centrale est normalement pointé à 1° au-dessous de l'horizon local. L'antenne de la station d'abonné (terminal distant) est pointée sur l'antenne de la station centrale. Par ailleurs, l'antenne de la station centrale est en général installée à une altitude supérieure de 100 m à celle des stations d'abonné. Pour une station d'abonné située à 200 m de la station centrale, la valeur de décroissance du gain de l'antenne de la station centrale est typiquement de 18 dB pour une antenne cornet de $15^\circ \times 90^\circ$ (élévation \times azimut) et de 29 dB pour une antenne cornet de $3^\circ \times 45^\circ$.

Il est nécessaire de prévoir une marge suffisante pour compenser les effets des évanouissements dus aux précipitations. En cas d'affaiblissement important sur le trajet dû aux précipitations, les stations d'abonné dépasseront les limites de densité spectrale de p.i.r.e. par temps clair pour compenser (proportionnellement) le surcroît d'affaiblissement sur le trajet. La disponibilité de la liaison varie alors selon la zone hydrométéorologique et la longueur du trajet. Le Tableau 8 indique les valeurs (minimales) de marge d'évanouissement requises pour diverses probabilités cumulatives à 28 GHz. Ces valeurs d'affaiblissement dû aux précipitations ont été calculées sur la base des zones hydrométéorologiques de la Recommandations UIT-R P.837-1 (Caractéristiques des précipitations pour la modélisation de la propagation, Genève, 1994) et des équations de la Recommandation UIT-R P.530-6 (Données de propagation et méthodes de prévision

nécessaires pour la conception de faisceaux hertziens à visibilité directe de Terre, Genève, 1995). Dans le scénario le plus défavorable (systèmes de communication locale/systèmes multipoint de distribution locale (LMCS/LMDS, *local multipoint communication systems/local multipoint distribution systems*)), on suppose une polarisation horizontale sur la liaison.

TABLEAU 8

Marge minimale d'évanouissement (dB) pour la probabilité cumulative requise, en fonction de la longueur du trajet (km), pour diverses zones hydrométéorologiques de l'UIT-R

Liaison	Zones hydrométéorologiques de l'UIT-R et longueur du trajet (28 GHz, polarisation horizontale)									
	E		F		K		M		N	
	2,5 km	5 km	2,5 km	5 km	2,5 km	5 km	2,5 km	5 km	2,5 km	5 km
0,999	3,5	6,4	4,3	8,0	6,3	11,8	9,3	16,6	12,9	21,8
0,9995	4,7	8,7	5,9	11,0	8,7	16,0	12,6	22,6	17,8	29,7
0,9999	9,1	16,6	11,5	21,0	17,2	30,7	25,0	43,4	35,0	57,0
0,99995	11,6	21,3	15,0	27,0	22,3	39,4	32,5	55,7	45,4	73,2

2 Caractéristiques techniques

Les caractéristiques techniques dépendent des critères de marge d'évanouissement. Deux cas seront considérés: propagation par temps clair et propagation dans des conditions d'évanouissement.

Dans le sens descendant, les systèmes fonctionnent avec une puissance d'émission fixe, tandis que, dans le sens montant, les émetteurs sont dotés d'une commande automatique de puissance.

La Recommandation UIT-R F.758 décrit les caractéristiques de systèmes exploités avec une densité spectrale de p.i.r.e. (station centrale) de +8 dB(W/MHz) dans la bande 25,25-27,5 GHz et pour lesquels il faut prévoir, avec une portée de 5 km, une marge d'évanouissement de 37 dB.

La Recommandation UIT-R F.758 décrit également les caractéristiques de systèmes exploités avec une densité spectrale de p.i.r.e. (station centrale) de +30 dB(W/MHz), la densité spectrale de p.i.r.e. (station d'abonné) étant de +42 dB(W/MHz) dans les bandes 27,5-28,35, 29,1-29,25 et 31,0-31,3 GHz, et pour lesquels il faut disposer d'une marge d'évanouissement de 57 dB avec une portée de 5 km.

Les caractéristiques techniques, c'est-à-dire la puissance d'émission, sont normalement ajustées en fonction de la marge d'évanouissement requise et de la portée spécifiée.

3 Caractéristiques d'antenne

Les systèmes LMCS/LMDS utilisent des antennes conçues pour diverses dimensions de secteur et applications de station centrale. Le type d'antenne peut également être adapté en fonction du relief, de la marge de liaison et des caractéristiques de qualité de fonctionnement spécifiées.

On se référera à la Recommandation UIT-R F.1336 pour les diagrammes de rayonnement d'antenne correspondants. Dans tous les cas, on suppose une polarisation orthogonale entre secteurs adjacents.

4 p.i.r.e. des stations d'abonné

Au niveau des stations d'abonné, une commande automatique de puissance permet de minimiser les brouillages induits dans le système LMCS/LMDS. On parle alors de commande de puissance du terminal distant dans le sens montant. La puissance d'émission de la station d'abonné varie en fonction de l'affaiblissement sur le trajet: il s'agit de maintenir constant le rapport énergie/densité spectrale de puissance de bruit, E_b/N_0 , relevé au niveau du démodulateur de la

station centrale. Les stations d'abonné proches de la station centrale ont un niveau de puissance d'émission très inférieur à celui des stations d'abonné distantes. Par temps clair, les stations d'abonné n'utilisent que le niveau de puissance requis pour respecter le seuil E_b/N_0 au niveau du récepteur central.

En présence d'un affaiblissement supplémentaire dû aux précipitations sur le trajet entre la station d'abonné et la station centrale, on augmente la puissance des stations d'abonné affectées pour compenser l'affaiblissement et maintenir constant le seuil E_b/N_0 à la réception au niveau de la station centrale. Tout affaiblissement dû à la pluie entre la station centrale et l'observateur entraîne un surcroît d'affaiblissement du signal par rapport au niveau obtenu par temps clair. La p.i.r.e. apparente de la station d'abonné ne peut être qu'égale ou inférieure à la valeur obtenue par temps clair pour un observateur distant regardant en direction de la station centrale (c'est-à-dire qu'aucune marge d'évanouissement n'est prévue au niveau de la liaison descendante).

Il est nécessaire de prévoir une commande de puissance automatique dans le sens montant pour remédier aux effets des brouillages induits et rendre réalisable le concept LMCS/LMDS dans un service bidirectionnel. Les stations d'abonné n'émettent que lorsqu'elles pointent vers une station centrale. Le niveau de puissance d'émission dépend de la distance par rapport à cette station centrale. Les stations d'abonné n'émettent qu'au niveau de puissance nécessaire pour fournir le niveau seuil de réception E_b/N_0 requis en fonction du format de modulation considéré au niveau de la station centrale. Dans de bonnes conditions de fonctionnement, l'effet des brouillages entre stations d'abonné des systèmes LMCS/LMDS sur le rapport E_b/N_0 à la réception (station centrale) ne doit pas dépasser 0,5 dB.

Il convient de noter que les stations d'abonné d'un secteur fonctionnent toujours sur des canaux différents. Pour un observateur distant, le faisceau principal d'une seule station d'abonné par secteur rayonne d'une cellule donnée vers l'observateur en un instant et pour une fréquence donnée.

A la limite entre deux secteurs, le maximum des contributions sur un même canal est de deux signaux. La station d'abonné du premier secteur fonctionne en polarisation horizontale, celle du second secteur en polarisation verticale. La probabilité de fonctionnement simultané de deux stations d'abonné sur la fréquence de l'observateur dans la très étroite région représentée par une frontière de secteurs est très faible.

5 Caractéristiques opérationnelles des systèmes P-MP

Les caractéristiques opérationnelles ont une incidence sur la probabilité d'émission sur un canal donné. Différents facteurs interviennent en l'occurrence, notamment la p.i.r.e. en fonction de la zone hydrométéorologique, l'utilisation éventuelle d'un protocole multi-accès, la charge générale de la bande, le pourcentage de capacité centrale utilisée, la combinaison de services proposée, diverses considérations économiques, politiques et administratives internes, la taille des cellules, le coefficient de chevauchement des configurations, etc. Chacun de ces facteurs limite les brouillages potentiels à une valeur inférieure au brouillage que l'on obtiendrait sur la base des densités et des capacités d'émission brutes. Ces facteurs appellent un complément d'étude.
