

RECOMMANDATION UIT-R M.1468*

**CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE SYSTÈMES À SATELLITES
MULTISERVICES ET SCÉNARIOS DE PARTAGE ASSOCIÉS**

(Question UIT-R 104/8)

(2000)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que certaines bandes de fréquences comprises entre 20 GHz environ et 50 GHz environ, attribuées au service fixe par satellite (SFS) et au service mobile par satellite (SMS) à titre primaire et destinées à être utilisées par les systèmes à satellites multiservices (SSMS) sont actuellement à l'étude;
- b) que la Recommandation 715 (Orb-88) invite à simplifier le processus de mise en service des réseaux à satellite avec différentes catégories de stations d'utilisateurs;
- c) que des technologies, actuellement en cours de développement, permettront la mise en oeuvre d'applications polyvalentes (fixes, mobiles et autres) dans une seule bande de fréquences;
- d) que des efforts visant à développer des technologies spécifiques sont déployés dans certains pays en vue de mettre au point des systèmes SSMS dans les bandes de fréquences visées au *considérant a)*;
- e) que la Question UIT-R 104/8 appelle des études sur la coordination technique supplémentaire nécessaire qui permettrait aux différents SSMS de fonctionner dans une même bande de fréquences;
- f) que la Question UIT-R 104/8 appelle également l'étude des caractéristiques techniques et des procédures d'exploitation applicables aux SSMS;
- g) que l'UIT-R étudie, au titre de la Question UIT-R 81/4, les mesures qui permettraient d'améliorer l'utilisation de l'orbite/spectre pour les réseaux à satellites multiservices dans une ou plusieurs bandes de fréquences, et a adopté la Recommandation UIT-R S.744, à caractère général;
- h) que l'UIT-R a adopté la Recommandation UIT-R S.1329 sur le partage de fréquences, dans les bandes 19,7-20,2 GHz et 29,5-30,0 GHz, entre systèmes du SMS et systèmes SFS,

recommande

- 1** d'utiliser des techniques d'accès, par exemple l'accès multiple par répartition en code (AMRC) (d'autres techniques d'accès et de modulation sont à l'étude) pour les stations terriennes personnelles et mobiles à faible débit de données fonctionnant dans un environnement à faible densité de signaux, qui permettraient à plusieurs systèmes SSMS de fonctionner dans les bandes de fréquences visées au *considérant a)*, afin de maximiser les possibilités de partage;
- 2** afin de faciliter le partage des fréquences entre les systèmes du SMS et les systèmes du SFS, d'utiliser pour les stations terriennes personnelles et mobiles fonctionnant dans les bandes visées au *considérant a)*, d'autres techniques, telles des antennes à faibles lobes latéraux (quasi rectangulaires), orthogonales par rapport à l'OSG, et à poursuite automatique et un codage concaténé (Reed Solomon (RS) + convolution);
- 3** de prendre en considération les caractéristiques techniques et les scénarios de faisabilité du partage du SMS décrits dans les Annexes 1 et 2 pour les nouveaux systèmes SSMS fonctionnant dans les bandes de fréquences visées au *considérant a)*.

* Il convient de porter la présente Recommandation à l'intention de la Commission d'études 4 des radiocommunications.

Caractéristiques techniques des SSMS

1 Introduction

La présente annexe traite de la mise en place de systèmes SSMS qui assureraient des communications mobiles, personnelles, point à point et point à multipoint sur un engin spatial commun en utilisant une bande de fréquences commune. Dans un souci de simplicité, les communications point à point et point à multipoint seront appelées dans ce qui suit communications à point fixe.

La présente annexe décrit aussi les caractéristiques techniques principales de certains SSMS à prendre en considération lors de l'élaboration des scénarios de partage entre le SFS et le SMS.

2 Architecture du système à satellites à accès personnel de la NASA

Ce système est fondé en partie sur la technologie d'engin spatial qui a fait l'objet d'une démonstration dans le cadre du Satellite de communications technologiques avancées ACTS (*Advanced Communications Technology Satellite*) et également issu du programme de recherche PASS (*Personal Access Satellite System*: système à satellite à accès personnel) du Jet Propulsion Laboratory de la NASA. Le système PASS à 20/30 GHz utilise des faisceaux multiples fixes pour desservir simultanément et de manière continue tous les utilisateurs se trouvant dans la zone de service, c'est-à-dire dans les Etats-Unis d'Amérique continentaux (CONUS), et un seul faisceau CONUS pour les liaisons de connexion. Ses principales caractéristiques sont données dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

Caractéristiques principales du système ACTS

Fréquence de fonctionnement	
Liaison montante	30 GHz
Liaison descendante	20 GHz
Couverture	
SAT/fournisseurs	Faisceau CONUS
SAT/utilisateurs	142 faisceaux ponctuels
Services génériques	Voix et données
Débit de données type par canal	4,8 kbit/s
Compensation pluie	
Aller	Commande de puissance sur liaison montante et débit de données variable
Retour (type stations personnelles simples (BPT, <i>basic personal terminals</i>))	Débit de données variable
Retour (type stations personnelles améliorées (EPT, <i>enhanced personal terminals</i>))	Commande de puissance sur liaison montantes et débit de données variable
Disponibilité de liaison	98% (type BPT) >98% (type EPT)
Gestion puissance interfaisceau	Gestion de puissance sur 9 faisceaux
Capacité de réutilisation de fréquence	16 fois (faisceaux ponctuels)
Capacité du système	Equivalente à 7 500 canaux téléphoniques duplex (Vox = 35%)

La fréquence de liaison montante est de 30 GHz et celle de la liaison descendante de 20 GHz. Le spectre de fréquences disponible pour les liaisons montantes et les liaisons descendantes est divisé en deux parties pour les faisceaux CONUS (liaisons de connexion) et les faisceaux ponctuels (liaisons de service). Les fréquences assignées aux faisceaux ponctuels sont réutilisées 16 fois. Le spectre des fréquences disponibles dans un faisceau/répéteur donné sera subdivisé en deux segments: un réservé aux communications mobiles et personnelles et l'autre aux communications à point fixe. La partie attribuée aux communications mobiles et personnelles sera disponible à tous les utilisateurs des communications mobiles et personnelles. De même, la portion réservée aux communications à point fixe sera disponible à tous les utilisateurs de communications à point fixe.

2.1 Satellite

Le satellite utilise deux antennes à faisceaux ponctuels dont les diamètres sont de 2 et 3 m pour l'émission et la réception respectivement. Ces antennes produisent 142 faisceaux ponctuels couvrant la zone de service. Les antennes à faisceaux ponctuels ont un gain de 52,5 dBi et une ouverture de faisceau à 3 dB de $0,35^\circ$. Le rapport G/T à la réception est de 23,4 dB(K⁻¹), et la p.i.r.e. est de 55 dBW. Pour faciliter la réutilisation des fréquences dans les faisceaux ponctuels, l'antenne à faisceaux ponctuels du satellite est conçue pour présenter une isolation entre faisceaux de 20 dB. Le rapport G/T du faisceau CONUS à la réception est de -1,2 dB(K⁻¹) et la p.i.r.e. émise est de 40 dBW.

2.2 Stations terriennes

Il existe différents types de stations d'utilisateurs adaptés à différentes applications: stations personnelles simples (BPT: *basic personal terminals*), stations personnelles améliorées (EPT: *enhanced personal terminals*), stations mobiles pour véhicules (VMT: *vehicular mobile terminals*), stations mobiles aéronautiques (AMT: *aeronautical mobile terminals*), microstations (MT: *micro terminals*) et stations fixes (FT: *fixed terminals*).

Les BPT sont conçues pour des communications personnelles. Elles seront équipées d'une antenne à poursuite et permettront de prendre en charge des services vocaux et de données à un débit ne dépassant pas 4,8 kbit/s dans des conditions d'exploitation normales, c'est-à-dire en l'absence de pluie. Ce type de station doit nécessairement avoir un gain d'antenne de 20 à 25 dBi (pour le système PASS, 23 dBi en émission et 19 dBi en réception) et être équipé d'un modem à débit variable, d'un émetteur de 1 W et d'autres composants qui dépendent de l'application. Le modem est à débit variable pour compenser l'affaiblissement dû à la pluie. La station personnelle simple est destinée à être transportée par l'utilisateur.

Les EPT auront un gain d'antenne de 30 à 35 dBi et sont également conçues pour prendre en charge des communications personnelles. Ces stations acceptent des débits de données plus élevés et peuvent par conséquent prendre en charge un plus grand nombre de services que les BPT, mais elles ne sont pas destinées à être mobiles. De ce fait, elles ne doivent pas nécessairement être très compactes.

Les VMT sont destinées aux applications mobiles et sont analogues aux stations mobiles dans les bandes 1,5-1,6 GHz. Leur gain d'antenne est compris entre 20 et 25 dBi.

Les AMT sont destinées aux applications mobiles aéronautiques et sont analogues aux VMT.

Les communications point à multipoint (c'est-à-dire les communications de type terminal à très petite ouverture (VSAT) sont prises en charge par les microstations qui sont analogues aux microstations VSAT. Leur gain d'antenne est d'environ 40 dBi.

Les communications point à multipoint sont analogues aux communications conventionnelles fixes par satellite. Les stations terriennes pour cette application seront probablement équipées de grandes antennes présentant un gain de 50 dBi ou plus.

3 Architecture du système du projet SECOMS

Les communications par satellite dans la bande des ondes millimétriques pour les services mobiles multimédia (SECOMS, *Satellite EHF Communications for Multimedia Mobile Services*) sont un projet approuvé par la Commission européenne visant à définir et à concevoir un nouveau système à satellites assurant des services mobiles multimédias dans les bandes des ondes centimétriques de 20 à 30 GHz et des ondes millimétriques de 40 à 50 GHz à destination de stations portables/mobiles ou de poche.

Pour le système SECOMS, on a adopté l'approche évolutive suivante:

- *Phase 1*: composante de système dans la bande de 20 à 30 GHz avec une couverture sur l'Europe et les pays environnants (Europe élargie) assurant des services mobiles multimédias à destination de stations mobiles/portables de taille moyenne à des débits allant jusqu'à 2 048 kbit/s;
- *Phase 2*: composante de système en bande de 40 à 50 GHz permettant d'augmenter la capacité, d'élargir l'ensemble des services et d'améliorer la mobilité et l'interactivité pour des débits de données allant jusqu'à 64 kbit/s pour la téléphonie et les services de données en utilisant des stations de poche.

3.1 Satellite

Les satellites se trouvent sur l'OSG. Le cahier des charges de ce projet est le suivant:

- Utilisation de plusieurs satellites,
- Couverture multifaisceaux de l'Europe élargie avec de nombreux faisceaux à gain élevé à bord,
- Utilisation de liaisons inter-satellites entre les satellites transportant la charge utile dans la bande de 20 à 30 GHz et le satellite transportant la charge utile dans la bande de 40 à 50 GHz,
- Traitement numérique rapide à bord,
- Technique d'accès/distribution multiple: accès multiple par répartition dans le temps/multiplexage par répartition dans le temps – multifréquence (AMRT/MRF-MF),
- Modulation MDP-4 différentielle.
- Codage concaténé (RS + convolution).

Dans le sous-système correspondant à la Phase 1, on a supposé pour la configuration de bord que l'on utilisait trois antennes de 1,5 m à 20 GHz et trois antennes de 1 m à 30 GHz ayant la même ouverture de faisceau à 3 dB d'environ $0,7^\circ$, assurant la couverture de la zone de service avec 32 faisceaux. La capacité maximale (nominale) d'un satellite est de 1,4 Gbit/s. Le schéma de réutilisation des fréquences par discrimination spatiale est supposé être égal à 4 pour les liaisons montantes et à 3 pour les liaisons descendantes. Les largeurs de bande totales nécessaires déterminées à partir des besoins de trafic estimés, sont de 215 MHz pour les liaisons montantes et de 470 MHz pour les liaisons descendantes dans le cas d'utilisateurs mobiles, et de 240 MHz (liaisons montantes) et 120 MHz (liaisons descendantes) pour les stations fixes.

Pour la composante du système dans la bande à 40 à 50 GHz, on a supposé que l'on utilisait trois antennes de 1,1 m à 40 GHz et trois antennes de 1 m à 45 GHz, avec une ouverture de faisceau à 3 dB d'environ $0,5^\circ$. Ces antennes comportent 64 faisceaux desservant la même zone de couverture que la composante du système dans la bande de 20 à 30 GHz. La capacité maximale (nominale) d'un seul satellite est de 200 Mbit/s. Le schéma de réutilisation des fréquences par discrimination spatiale est supposée être égal à 9 pour les liaisons montantes et pour les liaisons descendantes. Les largeurs de bande totales nécessaires déterminées à partir des besoins en trafic estimés, sont de 103 MHz pour les liaisons montantes et de 125 MHz pour les liaisons descendantes dans le cas d'utilisateurs mobiles et de 107 MHz (liaisons montantes) et 107 MHz (liaisons descendantes) pour les stations fixes.

La connectivité inter-satellites et inter-faisceaux nécessaire exige l'utilisation de techniques de traitement numérique rapide à bord, c'est-à-dire une démodulation de bloc, un traitement numérique, un acheminement et une remodulation. Une condition particulièrement importante est l'abaissement dynamique des brouillages et le filtrage de chaque signal par traitement numérique rapide du signal. En ce qui concerne le choix de la technique d'accès multiple distribution, dans le projet SECOMS, c'est l'AMRT/MRF-MF, technique la plus avancée, qui a été retenue après étude comparative avec l'AMRC, en raison de ses meilleures performances de liaison et de sa faisabilité moins problématique. Pour des raisons de souplesse et d'efficacité d'utilisation des ressources, on a également supposé qu'il y avait assignation à la demande du débit binaire et du plan temporel.

3.2 Caractéristiques des stations terriennes

Trois types de stations d'utilisateur ont été identifiés dans la bande de 20 à 30 GHz:

- Station du type Sat-A, assurant des connexions parmi les utilisateurs à débit de données moyen et faible (jusqu'à 160 kbit/s dans la liaison montante et 2,048 Mbit/s dans la liaison descendante). La puissance d'émission moyenne sur les différents faisceaux est de 5,5 W, les dimensions de l'antenne sont de $27,5 \times 27,5 \text{ cm}^2$ et le gain maximal de l'antenne à la réception est de 34 dB. Dans le cas le plus défavorable, la puissance d'émission est de 6,5 W.
- Station de type Sat-B, assurant les connexions parmi les utilisateurs à débit de données moyen et élevé (jusqu'à 512 kbit/s dans la liaison montante et 2,048 Mbit/s dans la liaison descendante). La puissance moyenne d'émission sur les différents faisceaux est de 3,8 W, les dimensions de l'antenne sont de $35,4 \times 35,4 \text{ cm}^2$ et le gain maximal de l'antenne à la réception est de 36,2 dB. Dans le cas le plus défavorable, la puissance d'émission est de 4,4 W.
- Station de type Sat-C, assurant des connexions parmi les utilisateurs à débit de données élevé (jusqu'à 2,048 Mbit/s dans les liaisons montantes et descendantes). La puissance moyenne d'émission sur les différents faisceaux est de 15 W, les dimensions de l'antenne sont de $35,4 \times 35,4 \text{ cm}^2$ et le gain maximal de l'antenne à la réception est de 36,2 dB. Dans le cas le plus défavorable la puissance d'émission est de 17 W.

Dans la bande de 40 à 50 GHz, on prévoit un seul type de station d'utilisateur:

- Station de type Sat-D, assurant les connexions parmi les utilisateurs à débit de données faible (jusqu'à 64 kbit/s dans les liaisons montantes et descendantes). La puissance moyenne d'émission sur les différents faisceaux est de 1,8 W, les dimensions de l'antenne sont de $10 \times 10 \text{ cm}^2$ et le gain maximal de l'antenne de réception est de 36,2 dB. Dans le cas le plus défavorable, la puissance d'émission est de 3,2 W.

Deux types de stations terriennes fixes ont été envisagés: les stations de type Gat pour les interconnexions avec des réseaux publics de Terre et les stations de type fournisseur de service (SPS, *service provider stations*) destinées aux fournisseurs de services qui souhaitent avoir des connexions directes avec le satellite. La principale différence entre les deux types de stations terriennes est la disponibilité des liaisons (99,9% pour le type Gat et 99,5% pour le type SPS).

3.3 Liaisons et partage des fréquences

Les Tableaux 2a et 2b contiennent les caractéristiques principales du système SECOMS.

Il convient de noter que le système SECOMS est spécialement conçu pour faciliter le partage des fréquences entre systèmes du SMS et systèmes du SFS car il fait appel à:

- une utilisation intensive du codage concaténé (RS + convolution) qui permet une réduction de la puissance surfacique sur l'OSG et sur la surface de la Terre de plus de 6 dB; et à
- une technologie évoluée pour le système de pointage, d'acquisition et de poursuite pour les stations d'utilisateur qui offrent une précision de pointage théorique globale supérieure à 1° .

TABLEAU 2a

Caractéristiques systémiques principales du système SECOMS

Paramètre	Bande de 20 à 30 GHz	Bande de 40 à 50 GHz	Remarques
Position du satellite	12° E	12° E	Cas d'étude seulement
Capacité maximale en trafic du satellite	~ 1,4 Gbit/s	200 Mbit/s	
Nombre de faisceaux ponctuels	32	64	
Type de station satellite	3 (Sat-A, Sat-B, Sat-C)	1 (Sat-D)	
Type de station terrienne fixe	2 (Gat-K, SPS-K)	2 (Gat-E, SPS-E)	Brouille le réseau de Terre
Débit d'information sur liaison montante (kbit/s)	16 à 160 (Sat-A) 16 à 512 (Sat-B) 16 à 2 048 (Sat-C)	– 8 à 64 –	
Débit d'information sur liaison descendante	4 096 kbit/s (Sat-A) 16,384 Mbit/s (Sat B, C)	512 kbit/s	
Débit d'information passerelle (Mbit/s)	32,768	1,024	Liaison montante et liaison descendante
Fréquence (GHz):			
Liaison montante	30	45	
Liaison descendante	20	40	
Couverture	Régionale	Régionale	
Ouverture de faisceau	0,7° (à –3 dB)	0,49° (à –3 dB)	
Polarisation	Circulaire	Circulaire	
G/T satellite (dB (K ⁻¹))	15,7	18,7	Au point d'intersection triple (pit)

TABLEAU 2a (fin)

Paramètre	Bande de 20 à 30 GHz	Bande de 40 à 50 GHz	Remarques
p.i.r.e. maximale du satellite par porteuse (dBW)	60,9 48,9	59,6 47,7	Utilisateurs mobiles (au pit) Stations fixes (au pit)
G/T de station d'utilisateur (dB (K ⁻¹))	5,1 (Sat-A) 11,7 (Sat-B) 11,7 (Sat-C)	5,1	
p.i.r.e. maximale de station d'utilisateur (dBW)	39,8 (Sat-A) 44,9 (Sat-B) 50,9 (Sat-C)	33,1	
Dimensions de l'antenne de station d'utilisateur (cm ²)	27,5 × 27,5 (Sat-A) 35,4 × 35,4 (Sat-B) 35,4 × 35,4 (Sat-C)	10 × 10	
Qualité de liaison	TEB < 1 × 10 ⁻¹⁰	TEB < 5 × 10 ⁻⁶	
Largeur de bande par porteuse de station d'utilisateur	170 kHz (Sat-A) 543 kHz (Sat-B) 2,17 MHz (Sat-C)	136 kHz (Sat-D)	
Largeur de bande liaison descendante	5 MHz (Sat-A) 20 MHz (Sat-B et C)	938 kHz (Sat-D)	
Précision de pointage attendue des stations d'utilisateur (degrés)	1	1	

TABLEAU 2b

Schémas de codage et de décodage du système SECOMS

Codage	Bande de 20 à 30 GHz		Bande de 40 à 50 GHz	
	Station d'utilisateur	Gat/SPS	Station d'utilisateur	Gat/SPS
Liaison montante	RS (80,64) + Diff. (321,320)	RS (208,192)	RS (80,64) + taux de conv 1/2 + Diff. (321,320)	RS (208,192) + taux de conv 1/2
Liaison descendante	RS (208,192) + taux de convolution 3/4		RS (208,192) + taux de convolution 1/2	
Décodage				
A bord	RS		Concaténation	
Au sol	Concaténation			

ANNEXE 2

Scénario de partage des systèmes SSMS**1 Introduction**

Dans la présente annexe, on étudie les possibilités de partage pour divers scénarios. L'analyse portera sur les liaisons de service (faisceaux ponctuels). Les liaisons de connexion ne seront pas analysées car les brouillages seront faibles ou voire absents sur ces liaisons. On détermine d'abord la capacité d'un satellite sans réutilisation de fréquences sur les faisceaux ponctuels ni réutilisation de l'orbite/spectre. On examine ensuite les conséquences de la réutilisation des faisceaux ponctuels et de la réutilisation orbite/spectre. Le nombre d'utilisateurs par canal (pour les systèmes utilisant l'AMRC seulement), et l'efficacité spectrale globale (bit/Hz) seront déterminés et utilisés et serviront de mesure de la capacité du système. Dans la présente analyse, il faut entendre par capacité d'un système celle des liaisons de service.

2 Hypothèses

Les hypothèses suivantes ont été retenues pour la détermination des possibilités de partage.

Station de communications personnelles et mobiles:

- Gain d'antenne d'utilisateur: 19 dBi (à 20 GHz) et 23 dBi (à 30 GHz) pour les stations BPT et MT et, environ 30 dBi (à 30 GHz) pour les stations EPT.
- Les stations BPT représentent un petit pourcentage de communications personnelles et mobiles (environ 10% de la capacité).
- Gain d'antenne des stations terriennes de raccordement: ≥ 50 dBi.

Station de communication point à multipoint:

- Gain d'antenne d'utilisateur: ~ 40 dBi;
- Gain d'antenne des stations terriennes de raccordement: ≥ 50 dBi.

Station de communication point à point:

- Gain d'antenne d'utilisateur: ≥ 50 dBi environ;
- Gain d'antenne des stations terriennes de raccordement: ≥ 50 dBi.

Caractéristiques des satellites et des liaisons:

- Tous les satellites sont homogènes et présentent une largeur de bande de répéteur identique, une p.i.r.e. de liaison descendante identique et une puissance surfacique de liaison descendante identique;
- La réutilisation de fréquences dans les faisceaux ponctuels sera utilisée pour les liaisons satellite/utilisateur avec une isolation interfaisceaux de 20 dB et une réutilisation de fréquences de 16 fois;
- La qualité de fonctionnement globale des liaisons est limitée par la qualité de fonctionnement des liaisons utilisateur/satellite;
- Il n'y aura pas de brouillage important pour les liaisons de raccordement en raison de la forte directivité des antennes des stations terriennes.

3 Partage entre les satellites pour les applications personnelles et mobiles**3.1 Choix des techniques d'accès multiple**

A la fois l'accès multiple par étalement de spectre (AMES) (également appelé AMRC), et l'accès multiple par répartition en fréquence (AMRF) offrent des possibilités intéressantes pour ces applications. L'AMES a été choisi dans cette analyse car il offre aux utilisateurs un accès instantané au système et présente une bonne immunité aux effets des trajets multiples. En outre, l'AMES permet aux opérateurs de satellites adjacents partageant la même bande de fréquences une utilisation relativement libre du spectre.

Etant donné que deux types de stations présentant une différence de 10 dB de gain d'antenne, sont utilisées pour les communications personnelles et mobiles, on suppose ici que les débits de données pris en charge par ces stations sont directement proportionnels au gain d'antenne de ces stations (c'est-à-dire 4,8 kbit/s et 48 kbit/s pour les stations BPT et EPT, respectivement). Cependant, on suppose que le facteur d'étalement (ou le gain de traitement dû à l'étalement de spectre) est le même (30 dB) pour les deux types de station.

3.2 Capacité du système en l'absence de brouillages interfaisceaux et intersatellites

L'efficacité spectrale globale β est un facteur de qualité couramment utilisé pour comparer un système et un autre. Il est égal à la capacité du système divisée par la largeur de bande disponible et peut être calculé directement à partir du nombre d'utilisateurs par canal au moyen de la formule suivante:

$$\beta = (\text{Nbre d'utilisateurs par canal}) (FR) (\eta) (PG)$$

où:

FR : nombre de réutilisations de fréquence

η : efficacité globale de transmission

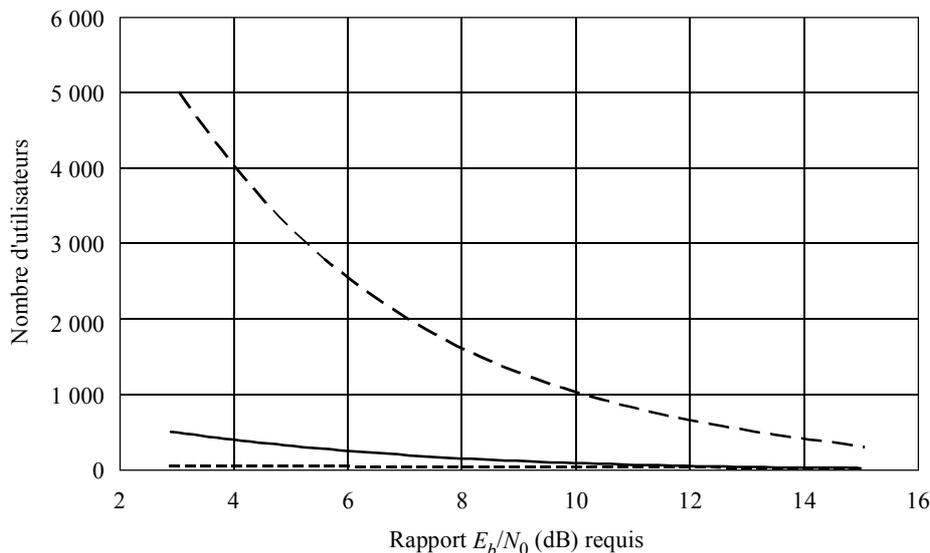
PG : gain de traitement dû à l'étalement de spectre.

Dans la présente analyse, on suppose que l'efficacité de transmission est de 1 élément/Hz incluant les effets Doppler, les bandes de garde, les erreurs de fréquence, etc.

La Fig. 1 fixe le nombre maximum d'utilisateurs par canal dans le cas d'un système à satellites à faisceau unique et celui-ci servira de référence pour évaluer les effets du partage de fréquences intersystèmes et la réutilisation de fréquence intrasystème. En supposant un gain de traitement de 30 dB, un rapport E_b/N_0 de 3 dB, le nombre maximal d'utilisateurs par canal est de 500. L'efficacité spectrale correspondante pour un système à faisceau unique sans réutilisation de fréquences est de 0,5 bit/Hz, ce qui peut être obtenu à partir de l'équation ci-dessus en prenant $FR = 1$.

FIGURE 1

Nombre maximum d'utilisateurs par canal en fonction du rapport E_b/N_0 requis pour un PG donné (en l'absence de brouillage interfaisceaux et intersatellites)



Gain de traitement (PG) (dB)

----- 20

————— 30

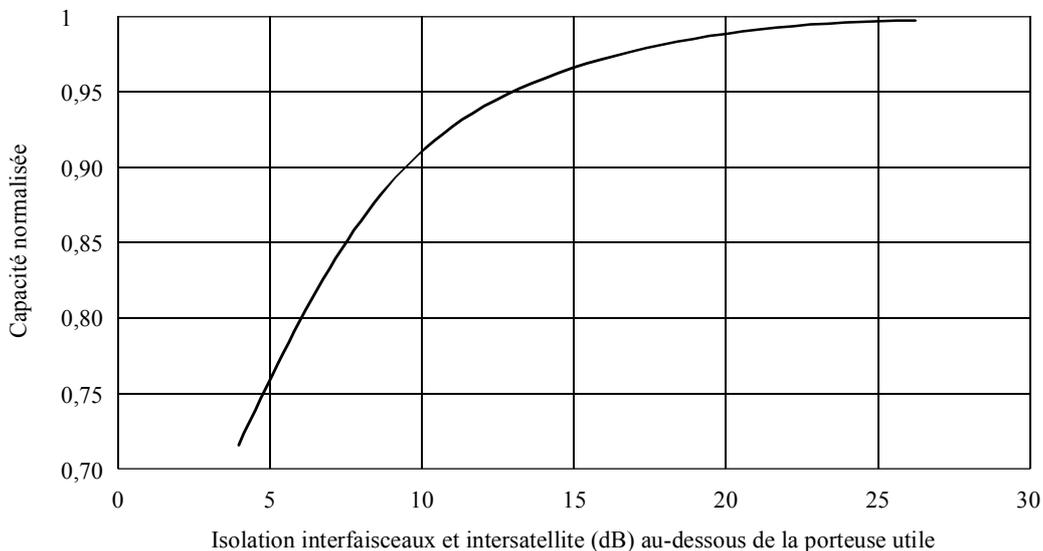
- - - - - 40

3.3 Capacité du système en présence de brouillages interfaisceaux et intersatellites

La présence de brouillages interfaisceaux réduit le nombre maximal d'utilisateurs actifs (par canal et par faisceau). La Fig. 2 donne le nombre maximum d'utilisateurs (par canal et par faisceau) en fonction de l'isolation interfaisceaux, normalisée par rapport à la capacité maximale théorique que l'on peut obtenir en l'absence de brouillages interfaisceaux et intersatellites. Bien que le nombre d'utilisateurs (par canal et par faisceau) soit diminué, les systèmes avec réutilisation de fréquences dans les faisceaux ponctuels auront une capacité totale plus élevée (c'est-à-dire que le nombre total d'utilisateurs dans le système à satellites complet sera plus grand) que les systèmes sans réutilisation de fréquence. Pour le système à satellites projeté, avec une isolation entre faisceaux de 20 dB et une réutilisation de fréquence de 16 (pour les faisceaux ponctuels seulement), cette réutilisation de fréquence dans les faisceaux ponctuels multiplie la capacité totale des liaisons de service par un facteur de 15,8, ce qui donne une efficacité spectrale de 7,9 bit/Hz.

FIGURE 2

Capacité normalisée du système en fonction de l'isolation interfaisceaux/intersatellites pour des systèmes homogènes



Note 1 – La capacité a été normalisée par rapport à la capacité maximale que l'on peut obtenir en l'absence de brouillages interfaisceaux et intersatellites.

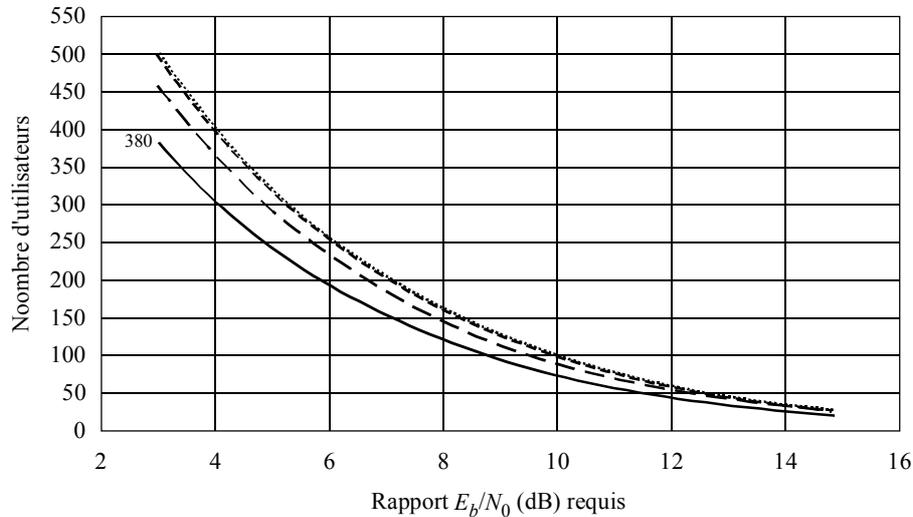
1468-02

Les brouillages intersatellites (y compris avec les satellites adjacents) ont un effet analogue au brouillage interfaisceaux sur les capacités totales et individuelles du système. La Fig. 3 donne le nombre d'utilisateurs en fonction du rapport E_b/N_0 requis pour un gain de traitement, une isolation interfaisceaux, une isolation intersatellites donnés. Bien que les capacités de chaque système soient réduites en présence de brouillages intersatellites, tout système sans brouillage interfaisceaux et sans brouillage avec le satellite adjacent peut prendre en charge 500 utilisateurs par canal, comme précédemment indiqué. Pour deux satellites adjacents cocanal présentant une isolation interfaisceaux de 20 dB et une isolation intersatellites de 5 dB, la capacité de chacun des satellites sera ramenée à 380 utilisateurs par canal comme indiqué à la Fig. 3. La capacité totale des deux satellites combinés sera donc de 760 utilisateurs par canal, soit 50% de plus que celui d'un seul satellite sans réutilisation d'orbite. L'efficacité spectrale résultante pour les deux satellites combinés est de 12,2 bit/Hz.

On peut conclure en général que le partage du spectre entre deux satellites adjacents pour des communications mobiles et personnelles est réalisable en utilisant l'AMRC. Cependant, il y a une diminution des capacités de chacun des systèmes dont l'importance dépend de l'espacement orbital et des caractéristiques des antennes d'utilisateur.

FIGURE 3

Nombre maximum d'utilisateurs par canal en fonction du rapport E_b/N_0 requis pour un PG, une isolation interfaisceaux et une isolation intersatellites donnés



PG = 30 dB
Isolation interfaisceaux = 30 dB

Isolation intersatellites (dB)

..... Infini
 ——— 5
 - - - - 10
 - - - - 20

1468-03

3.4 Effets de l'espacement orbital sur la faisabilité du partage et la capacité

Les effets du partage de fréquence entre deux satellites adjacents sur les capacités de leur système peut être minimisé par espacement orbital. Pour une isolation intersatellites donnée et par conséquent, pour une certaine diminution de la capacité, l'espacement orbital dépend fortement du type d'antenne d'utilisateur et de leur diagramme de rayonnement. Pour examiner les effets de l'espacement orbital sur la capacité du système, le diagramme de rayonnement des antennes d'utilisateurs des stations SSMS sera modélisé par le modèle de référence plus 7 dB. Ce modèle est fondé sur le diagramme de rayonnement de référence décrit dans le Recommandation UIT-R M.694, avec les deux améliorations suivantes destinées à augmenter l'isolation intersatellites:

- 4 dB de découplage de polarisation croisée uniforme sur tout le diagramme;
- 4 dB d'amélioration de la caractéristique interlobes latéraux pour refléter le fait que les niveaux dans les lobes latéraux du diagramme de rayonnement de référence sont pessimistes de 3 dB environ par rapport à l'antenne Inmarsat Standard-A.

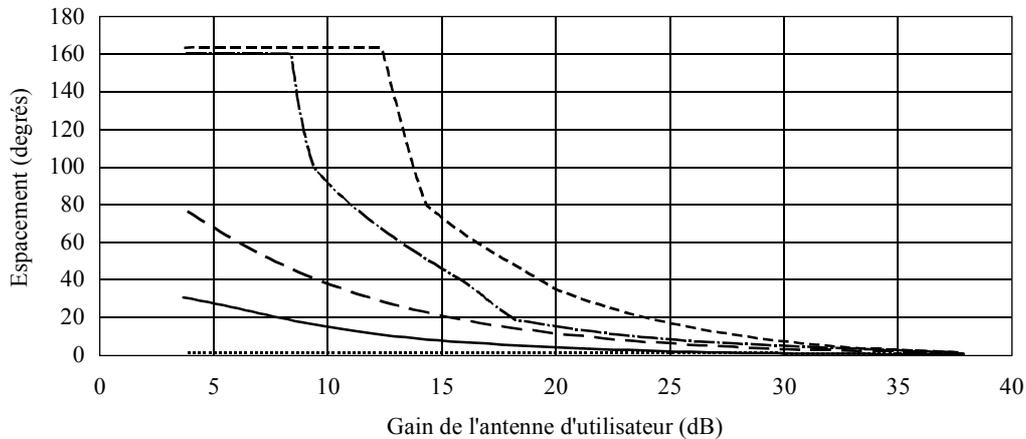
En utilisant le modèle Référence-Plus-7 dB, l'isolation intersatellites en fonction du gain de l'antenne d'utilisateur a été calculée (Fig. 4). Il est possible d'estimer la capacité totale du système à partir des Fig. 3 et 4 pour un espacement orbital donné. Par exemple, l'isolation intersatellites avec un espacement orbital de 10° est d'environ 10 dB pour 10%. La capacité totale des deux satellites combinés est par conséquent plus élevée de 80% par rapport à celle d'un seul satellite sans réutilisation de l'orbite.

4 Partage entre des satellites pour des applications point à point et point à multipoint

La faisabilité de partage de fréquences entre deux satellites pour les communications point à point et point à multipoint est examinée dans le présent paragraphe.

FIGURE 4

**Espacement orbital requis pour obtenir une isolation intersatellites donnée
en fonction du gain de l'antenne d'utilisateur SSMS
(diagramme d'antenne Référence-plus-7 dB)**



Isolation intersatellites (dB)
(Isolation de polarisation incluse)

- 1
- 5
- - - - 10
- · - · - 15
- - - - - 20

1468-04

4.1 Choix des techniques d'accès multiple

Bien que de nombreuses techniques d'accès multiple y compris l'AMRC, l'AMRF et l'AMRT (accès multiple par répartition dans le temps) soient applicables ici, les communications à points fixes, c'est-à-dire point à point et point à multipoint, emploient en général l'AMRF. Dans l'analyse qui suit on suppose que l'AMRF sera utilisé pour ces applications.

4.2 Capacité du système en l'absence de brouillages interfaisceaux et intersatellites

Pour un système à largeur de bande limitée, sa capacité est déterminée par l'efficacité de transmission, qui est fonction des schémas de modulation et du codage et de l'importance du filtrage du signal. En général, il est possible d'améliorer l'efficacité de transmission en utilisant une modulation à haute efficacité en largeur de bande et en filtrant fortement le signal à l'émission, moyennant une augmentation de la puissance requise du signal ou du rapport E_b/N_0 . Dans la présente analyse, on suppose de nouveau que l'efficacité de transmission globale est de 1 bit/Hz, incluant les effets Doppler, les bandes de garde et les erreurs de fréquence, etc. La capacité réelle du système pour un système à largeur de bande limitée est donnée par le produit de l'efficacité de transmission par la largeur de bande disponible et la réutilisation de fréquences.

4.3 Capacité du système en présence de brouillages interfaisceaux et intersatellites

En raison de la forte directivité des antennes d'utilisateurs pour les applications point à point et point à multipoint, une isolation interfaisceaux supérieure à 20 dB peut être obtenue pour un espacement orbital de $2,5^\circ$ entre satellites. Avec une isolation interfaisceaux de 20 dB, le brouillage total interfaisceaux et intersatellites est inférieur de plus de 17 dB par rapport à la porteuse utile. La dégradation résultante est négligeable et peut être facilement compensée. La capacité (efficacité spectrale) pour un système à deux satellites avec réutilisation dans les faisceaux ponctuels et réutilisation orbite/spectre est de 32 bit/Hz.

4.4 Effet de l'espacement orbital sur les possibilités de partage et la capacité

En général, le partage des fréquences entre deux satellites adjacents peu espacés (2° ou plus) est possible et ne se traduira pas par une diminution des capacités de chaque système en raison de la forte directivité des antennes d'utilisateurs. La réutilisation orbite/spectre améliorera donc fortement la capacité totale.

5 Partage entre satellites pour des applications personnelles et mobiles et satellites pour applications point à point et point à multipoint

5.1 Choix des techniques d'accès multiple

Comme indiqué précédemment, la technique d'accès multiple retenue est l'AMRC pour les applications personnelles et mobiles et l'AMRF pour les communications à points fixes.

5.2 Capacité de référence du système en l'absence de brouillages interfaisceaux et intersatellites

La capacité de référence (efficacité spectrale) pour le système de communication personnelle et mobile par satellite sans réutilisation de fréquence dans les faisceaux ponctuels ni réutilisation de l'orbite/spectre est de 0,5 bit/Hz. De même, la capacité de référence (efficacité spectrale) pour un système de communication par satellite point à point et point à multipoint est de 1 bit/Hz.

5.3 Capacité du système en présence de brouillages interfaisceaux

Pour un satellite recourant à la technique de réutilisation des fréquences multifaisceaux et assurant des communications personnelles mobiles à points fixes, des brouillages réciproques entre les utilisateurs de communications personnelles et mobiles et les utilisateurs de communications à points fixes peuvent exister. L'isolation interfaisceaux assurée par le satellite est la seule protection contre les brouillages interfaisceaux pour les utilisateurs AMRC et AMRF. L'isolation interfaisceaux de 20 dB indiquée dans le § 2 se fonde sur l'hypothèse que la puissance surfacique composite de tous les signaux AMRC est la même que celle des signaux AMRF. Toute différence se traduira dans une situation non équilibrée en faveur d'un type d'utilisateur aux dépens de l'autre. Ce problème peut avoir des conséquences importantes sur la capacité du système, il peut néanmoins être atténué par l'exploitant du système au moyen d'une combinaison de moyens différentes:

- imposer une puissance surfacique homogène pour les utilisateurs AMRC et AMRF, qui peut être obtenue soit en ajustant la puissance sur les liaisons montantes et sur les liaisons descendantes soit en réduisant le nombre d'utilisateurs AMRC;
- tolérer une valeur plus petite du rapport C/I pour les utilisateurs AMRF; ou
- une combinaison des deux moyens précédents.

Puissance surfacique relative sur les liaisons descendantes: La puissance surfacique relative est fonction du nombre d'utilisateurs AMRC actifs, des spécifications de qualité de fonctionnement des liaisons et les différences de gain d'antenne entre les stations AMRC et les stations AMRF (mobiles et fixes). La puissance surfacique relative sur la liaison descendante a été évaluée (voir la Fig. 5) sur la base des hypothèses suivantes:

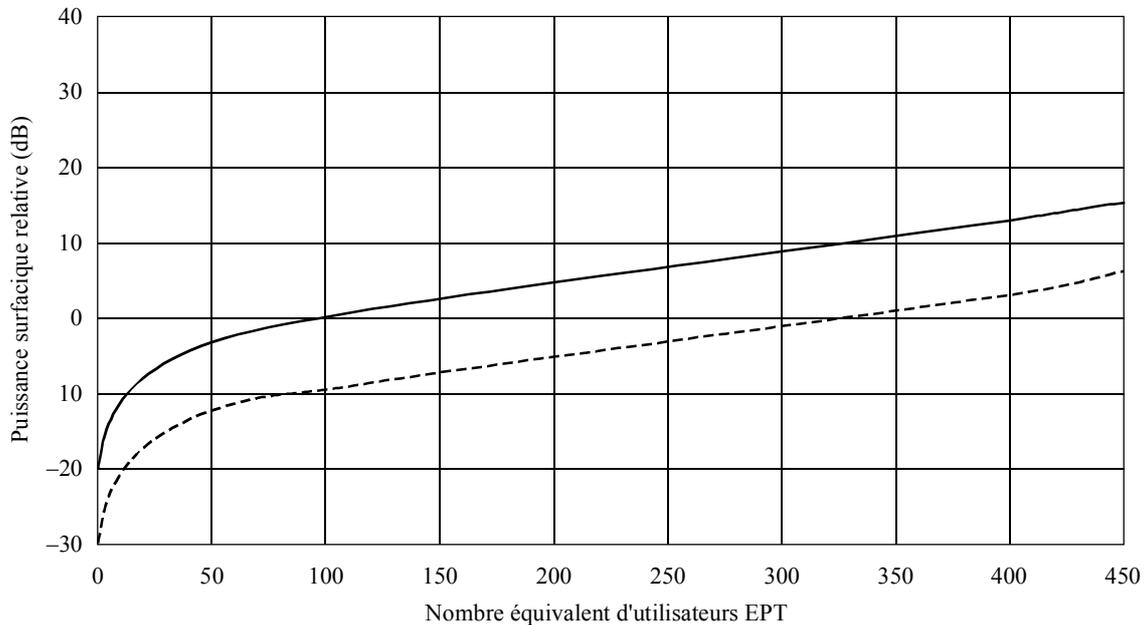
- Les communications à points fixes sont utilisées principalement à des fins professionnelles et par conséquent ont des exigences de qualité de fonctionnement plus strictes que les stations BPT et EPT. On a donc supposé qu'une marge pour la liaison supplémentaire de 10 dB sera nécessaire pour les communications à points fixes pour tenir compte des taux d'erreur inférieurs, des marges pour la pluie supérieures, etc.
- Les utilisateurs des systèmes BPT interviennent pour seulement 10% des communications totales AMRC.

La Fig. 5 donne la puissance surfacique relative de la liaison descendante en fonction du nombre d'utilisateurs EPT équivalents, avec une différence de gain d'antenne entre les stations EPT et les stations fixes comme paramètre. La différence de gain d'antenne est de 10 dB entre les stations EPT et les stations de communication point à multipoint et de 20 dB entre les stations EPT et les stations de communication point à point. Il convient de noter que la puissance surfacique relative est exprimée en fonction du nombre d'utilisateurs équivalents EPT, ce qui détermine la limite supérieure de la capacité du système pour un système AMRC desservant à la fois des stations BPT et EPT.

On peut réduire le nombre d'utilisateurs AMRC pour obtenir le rapport C/I souhaité afin de protéger les utilisateurs AMRF contre les brouillages AMRC. Par exemple, en abaissant le nombre d'utilisateurs équivalents EPT à 200 par canal, la puissance surfacique AMRC serait de 5 dB supérieure à celle de la l'AMRF, ce qui donne l'isolation interfaisceaux effective de 15 dB (20 dB – 5 dB) pour les utilisateurs AMRF et de 25 dB (20 dB + 5 dB) pour les utilisateurs AMRC.

FIGURE 5

**Puissance surfacique relative sur les liaisons descendantes d'un système AMRC
par rapport à la puissance surfacique d'un système AMRF
en fonction du nombre d'utilisateurs EPT**



DG: différence de gain d'antenne entre les utilisateurs AMRF et les utilisateurs EPT (dB)

DG (dB)

— 10

- - - 20

1468-05

Puissance surfacique relative sur les liaisons montantes: La puissance surfacique relative sur les liaisons montantes a été calculée et est représentée à la Fig. 6 avec les mêmes hypothèses que précédemment. On constate que la puissance surfacique AMRC est inférieure à la puissance surfacique AMRF, ce qui crée une situation en faveur des utilisateurs AMRF aux dépens des utilisateurs AMRC. Si le nombre d'utilisateurs AMRC est de 200 par canal (qui peut être constitué par un mélange de stations BPT), la puissance surfacique AMRC est inférieure à celle de la AMRF d'environ 15 dB. L'isolation interfaisceaux effective pour la protection des utilisateurs AMRC contre les brouillages provenant des liaisons montantes AMRF est donc de 5 dB (20 dB – 15 dB).

Les utilisateurs AMRF tireront avantage d'un fort déséquilibre de puissance surfacique. L'avantage de l'isolation interfaisceaux effective passe de 20 dB à 35 dB (20 dB + 15 dB), ce qui ne devrait pas conduire à une dégradation notable. La capacité du système reste donc égale à 16 bits/Hz.

En résumé, en fixant une limite supérieure au nombre d'utilisateurs CDMA à 200 utilisateurs EPT équivalents par canal, le problème de puissance surfacique non homogène peut être atténué et ne pas causer de dégradation de la qualité de fonctionnement.

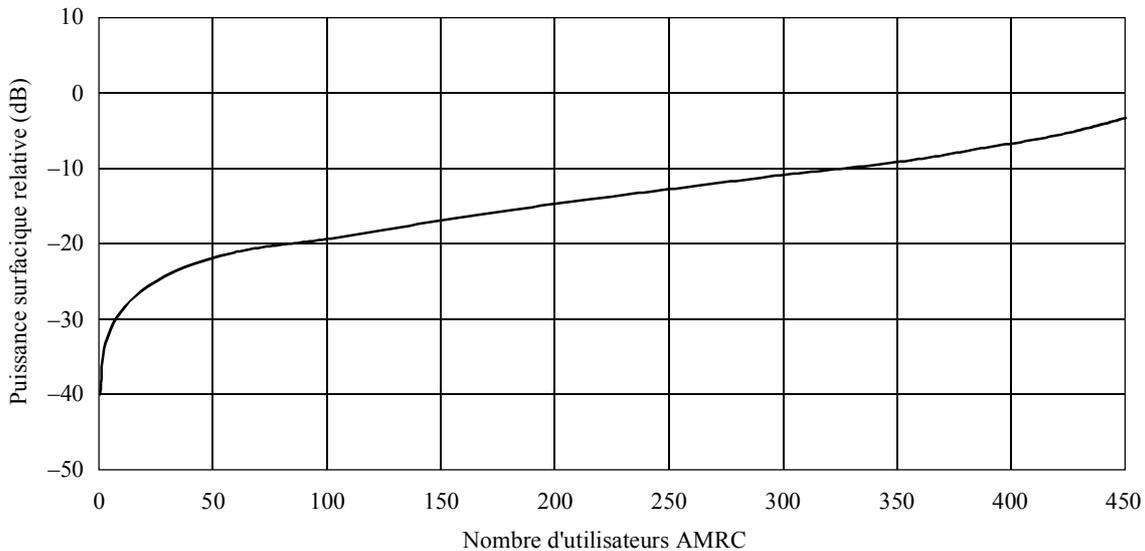
5.4 Capacité du système en présence de brouillages intersatellites

Les brouillages intersatellites peuvent affecter la capacité du satellite. On distingue trois scénarios de brouillage:

- Brouillage entre utilisateurs AMRC (communications personnelles et mobiles) d'un satellite et utilisateurs AMRC d'un autre satellite.
- Brouillage entre utilisateurs AMRF (communications à points fixes) d'un satellite et utilisateurs AMRF d'un autre satellite.
- Brouillage entre utilisateurs AMRC d'un satellite et utilisateurs AMRF d'un autre satellite, et réciproquement.

FIGURE 6

**Puissance surfacique relative sur les liaisons montantes (retour) d'un système AMRC
par rapport à la puissance surfacique d'un système AMRF en
fonction du nombre d'utilisateurs AMRC**



1468-06

Les deux premiers scénarios sont analogues aux analyses de brouillage intersatellites présentées dans les § 3.3 et 4.3 et leurs résultats sont applicables. L'analyse ci-dessous s'applique au troisième scénario, en supposant un espacement orbital raisonnable (3°) entre deux satellites adjacents.

Capacité dans le sens aller: Pour tenir compte des brouillages occasionnés par les signaux des liaisons descendantes AMRF d'un satellite adjacent, le nombre d'utilisateurs AMRC actifs doit être ramené de son maximum à un nombre qui est fonction de l'espacement orbital; l'isolation intersatellites des stations BTP est de 8,5 dB en incluant un découplage de polarisation de 4 dB. En incluant les effets des différentes puissances surfaciques des liaisons descendantes, l'isolation intersatellites effective devient égale à 13,5 dB (8,5 dB + 5 dB). La capacité AMRC sera réduite en proportion de 4% et sera donc égale à 96% de la capacité initiale. Il convient de noter que cette réduction ne sert qu'à tenir compte des brouillages intersatellites.

La réduction due au brouillage interfaisceaux n'a pas été incluse. Il convient également de noter que seuls deux satellites ont été pris en considération dans la présente section. Un nombre plus grand de satellites adjacents se traduira par une diminution encore plus grande de la capacité, ce qui sera examiné dans le § 7.

Avec un espacement de 3° , la station d'utilisateur AMRF doit pouvoir parvenir à une réduction de 30 dB. Une isolation intersatellites de 25 dB (30 dB – 5 dB (différence de puissance surfacique sur la liaison descendante) dans le sens aller (réception). Par conséquent les stations (ou utilisateurs) AMRF subiront un faible brouillage ou pas de brouillage du tout. La capacité AMRF n'est donc pas affectée par les utilisateurs AMRC.

Capacité dans le sens retour: Dans le sens retour, il peut être nécessaire de réduire la capacité AMRC pour:

- tenir compte des brouillages dans les liaisons montantes AMRF causés par un satellite adjacent, et/ou
- protéger les utilisateurs AMRF.

Avec une isolation intersatellites de 30 dB et une différence de puissance surfacique de 15 dB, l'isolation intersatellites effective pour les utilisateurs AMRF est de 15 dB (30 dB – 15 dB) dans le sens retour (émission). Cela abaissera la capacité AMRC d'un facteur d'environ 3% et sera donc égale à 97% de la capacité initiale. De même les signaux de liaison montante provenant des utilisateurs AMRC peuvent brouiller la réception des signaux AMRF par un satellite adjacent. Le brouillage acceptable est en général exprimé en termes de valeur C/I à respecter. Si la puissance surfacique sur la liaison montante pour les deux systèmes est la même et est uniformément répartie sur la largeur de bande considérée, le rapport C/I est simplement égal à l'isolation intersatellites des stations d'utilisateurs AMRC. Avec un espacement de 3° , l'isolation intersatellites est de 8,5 dB pour les stations BPT et de 12 dB pour les stations EPT. Si l'on suppose que les utilisateurs de station BPT représentent seulement 10% de la capacité AMRC, l'isolation intersatellites

pondérée est égale à 11,49 dB. En procédant aux ajustements pour tenir compte de la différence de 15 dB dans les puissances surfaciques des liaisons montantes, l'isolation intersatellites effective des stations BPT et EPT combinée devient égale à 26,5 dB (11,49 dB + 15 dB). Le rapport correspondant C/I pour l'AMRF est donc de 26,5 dB. Aucune dégradation des signaux AMRF n'est attendue.

6 Partage avec les systèmes de Terre

Le partage entre les SSMS et les systèmes de Terre fixes n'est en général pas possible en raison du caractère mobile et de la directivité relativement faible des antennes des stations d'utilisateur pour les applications personnelles et mobiles. La coordination entre ces systèmes serait complexe et irréalisable.

7 Utilisation de l'orbite/spectre

Le présent paragraphe donne la capacité orbite/spectre pour les utilisateurs AMRC et les utilisateurs AMRF.

7.1 Capacité orbite/spectre AMRC

Dans la présente analyse, les hypothèses sont les suivantes:

- arc utile: 21°;
- réutilisation de fréquence de faisceau ponctuel: 16 fois;
- 8 satellites espacés: 3°;
- polarisation inverse pour les satellites adjacents; et
- utilisation d'antenne à faisceau en éventail pour tous les utilisateurs AMRC.

7.1.1 Effets des brouillages AMRF

Pour déterminer la capacité du système, il est nécessaire d'abord de déterminer l'isolation intersatellites, qui ensuite doit être ajustée pour tenir compte de la différence de PFD entre les signaux AMRC et AMRF. Pour l'espacement intersatellites pris pour hypothèse, l'isolation intersatellites est estimée égale à 0,1 dB pour les utilisateurs de station BPT. Comme la PFD des liaisons descendantes AMRF est inférieure de 5 dB à celle des liaisons descendantes AMRC, la station BPT a effectivement une isolation intersatellites de 5,7 dB par rapport au brouillage des liaisons descendantes AMRF. Ceci abaisse en plus la capacité AMRC dans le sens aller de 21%. Le nombre d'utilisateurs dans le sens aller est donc ramené à 157 utilisateurs par canal ($200 \times 0,79$). Il convient de noter qu'une discrimination supplémentaire de 4 dB due à l'utilisation d'antenne à faisceau en éventail a été prise pour hypothèse dans les calculs ci-dessus.

Dans le sens retour, l'impact de l'orbite, l'impact de la réutilisation orbite/spectre est déterminé par l'isolation intersatellites des stations AMRF. Avec huit satellites espacés de 3° l'isolation intersatellites des stations AMRF est supposée être égale à 25 dB en incluant le découplage de polarisation. En procédant à un réglage pour la différence de 1,5 dB dans la puissance surfacique des liaisons montantes, l'isolation intersatellites effective devient égale à 10 dB, ce qui réduit la capacité AMRC d'environ 9%, ou ramène le nombre d'utilisateurs à 180 environ ($200 \times 0,91$ par canal).

7.1.2 Effets des brouillages AMRC

Dans le sens aller, la protection (isolation intersatellite) dont les stations BPT disposent contre les brouillages des liaisons descendantes AMRC provenant des satellites adjacents est de 0,7 dB, ou inférieure de 5 dB à celle par rapport au brouillage AMRF. La réduction de capacité résultante est de 46% (Fig. 4) ce qui correspond à 108 utilisateurs par canal ($200 \times 0,54$).

Dans le sens retour, le brouillage des liaisons montantes provenant d'utilisateurs de satellites adjacents AMRC peut se traduire par une diminution de capacité. Le brouillage est déterminé par l'isolation intersatellites des stations d'utilisateurs AMRC, c'est-à-dire des stations BPT et EPT. L'isolation intersatellites effective est d'environ 1,3 dB et 7,8 dB respectivement pour les stations BPT et EPT. Si l'on considère une attribution de capacité des stations BPT (10% de la capacité AMRC), on obtient une isolation intersatellites effective de 6,5 dB pour les utilisateurs AMRC (BPT et EPT combinés). La réduction de la capacité résultante est de 18%, ce qui correspond à 163 utilisateurs par canal ($200 \times 0,82$).

7.2 Capacité orbite/spectre AMRF

7.2.1 Effets des brouillages AMRC

Dans le sens aller, l'isolation intersatellites effective des stations AMRF est d'environ 20 dB après ajustement pour la différence de 5 dB dans la puissance surfacique des liaisons descendantes. A ce niveau, le brouillage intersatellites aura un impact faible ou nul sur la capacité individuelle des satellites.

Dans le sens retour, les signaux AMRC des liaisons montantes provenant des satellites adjacents peuvent brouiller la liaison AMRF. Comme indiqué au § 7.1.2, l'isolation intersatellites pondérée est de 6,5 dB. En procédant aux ajustements pour tenir compte de la différence de puissance surfacique sur les liaisons montantes, on obtient une isolation intersatellites effective de 21,5 dB (6,5 dB + 15 dB).

Ici aussi, il ne faut pas s'attendre pas à une dégradation importante de la qualité de fonctionnement.

7.2.2 Effets des brouillages AMRF

Le brouillages intersatellites parmi les systèmes homogènes est insignifiant dans les sens aller et retour dû à l'utilisation d'antenne fortement directive.

En résumé, la capacité AMRF par satellite n'est pas modifiée et reste la même que celle qu'on obtient en l'absence de brouillage intersatellites, c'est-à-dire de 16 bit/Hz. La capacité totale sur un arc de 21° est donc de 64 bit/Hz. Il convient de noter que l'utilisation d'antenne à faisceau en éventail par tous les utilisateurs AMRC a été prise pour hypothèse dans les § 3 et 4. Bien que cela soit souhaitable et améliore le partage, le partage intersystèmes peut également être obtenu sans recourir aux antennes à faisceau en éventail. Sans la discrimination additionnelle de 4 dB, l'isolation intersatellite effective sera de 4 dB inférieure. La capacité AMRC résultante sera d'environ 120 utilisateurs par canal.

8 Conclusions

Les caractéristiques principales de certains systèmes SSMS ont été présentées. Les possibilités de partage et la capacité orbite/spectre ont également été étudiées. En faisant varier le nombre d'utilisateurs AMRC par canal, les résultats montrent que les systèmes SSMS peuvent prendre en charge des équipements d'utilisateur non homogènes (stations BPT et EPT) et prendre en charge l'utilisation de différents modes d'accès multiple (AMRC et AMRF) pour différentes applications. L'analyse montre également que les SSMS peuvent également recourir à une réutilisation orbite/spectre malgré la relativement faible directivité des antennes des stations BPT. Les bilans de brouillage et les caractéristiques d'équipement ont été proposés avec l'objectif de conserver la compatibilité entre tous les utilisateurs/toutes les applications et d'optimiser l'utilisation de la ressource.
