

## RAPPORT 1172

PARTAGE ET REUTILISATION DES FREQUENCES ENTRE SYSTEMES  
DANS LES SERVICES MOBILES PAR SATELLITE FONCTIONNANT  
AUX FREQUENCES MOYENNES ET ELEVEES DE LA BANDE 9

(Question 83/8)

(1990)

1. Introduction

Le présent Rapport traite des conditions techniques dans lesquelles les réseaux à satellites géostationnaires des divers services mobiles par satellite peuvent partager des fréquences les uns avec les autres. Les réseaux à satellite de ce type ne peuvent partager des fréquences, c'est-à-dire émettre sur les mêmes canaux radioélectriques ou sur des canaux intercalés - que si le brouillage mutuel peut être maintenu au-dessous de valeurs faibles spécifiées sur les liaisons montantes comme sur les liaisons descendantes.

Il n'y a qu'un petit nombre de mécanismes par lesquels un réseau à satellite peut atténuer les signaux brouilleurs ou s'en isoler, à un degré suffisant pour que son objectif de brouillage soit atteint:

- l'utilisation de la directivité angulaire des antennes de réception et/ou d'émission des satellites;
- l'utilisation de la directivité angulaire des antennes des stations terriennes d'émission et/ou de réception;
- l'utilisation de polarisations opposées sur les canaux utile et brouilleur;
- l'intercalage de canaux, pour éviter que deux systèmes fonctionnent entièrement sur le même canal.

La mesure dans laquelle chacun de ces quatre mécanismes peut être utilisé pour procurer tout ou partie de l'isolement entre systèmes ou de l'atténuation du brouillage qui sont nécessaires dépend de la dimension et de la conception des antennes des stations terriennes et des satellites, des positions orbitales et de la couverture géographique des antennes des satellites des deux systèmes, de la mesure dans laquelle chacun de ces mécanismes peut avoir déjà été employé pour réutiliser les fréquences au sein de chaque système, ainsi que de facteurs de coût et d'exploitation.

L'efficacité de ces mécanismes a été étudiée pour différents types de réseau à satellite dans d'autres Rapports (voir, par exemple, le Rapport 453 pour le service fixe par satellite et le Rapport 772 pour le service mobile par satellite fonctionnant au voisinage de 7-8 GHz). Ces Rapports ont été établis avec l'hypothèse qu'un brouillage important, provoqué par l'autre réseau à satellite, existait dans le même canal, tant sur le trajet montant que sur le trajet descendant. En revanche, le présent Rapport traite des réseaux mobiles à satellites fonctionnant à 1,5/1,6 GHz, qui utilisent des liaisons de connexion dans différentes bandes de fréquences et des antennes de station terrienne de liaison de connexion sensiblement plus directives que celles des stations terriennes mobiles.

Le présent Rapport traite du partage de la bande 1,5/1,6 GHz des systèmes mobiles à satellites. Divers facteurs qui influencent le partage des fréquences y sont examinés, notamment les critères de brouillage, la discrimination des antennes des satellites et des stations terriennes, le décalage des fréquences porteuses, la discrimination de polarisation et la charge des répéteurs. L'Annexe IV contient l'évaluation de la limite supérieure de la capacité théorique de l'orbite des satellites géostationnaire pour les liaisons de communication des réseaux mobiles à satellite fonctionnant dans la bande 1,5/1,6 GHz.

## 2. Critères de brouillage et critères de charge du répéteur

Les critères de partage entre les liaisons des services sont fondés sur deux types de critère correspondant aux signaux brouilleurs: 1) le critère de niveau de brouillage maximal acceptable dans le canal de communication et 2) le critère de charge maximale acceptable des répéteurs de satellite résultant de l'ensemble des signaux de 1,6 GHz reçus par le satellite. Les niveaux de brouillage "admis", conformément au numéro 162 du Règlement des radiocommunications, sont fixés au cours du processus de coordination. Le présent Rapport concerne les niveaux maximaux de brouillage admissibles (numéro 161 du Règlement des radiocommunications).

### 2.1 Niveau de brouillage admissible dans un canal

On ne dispose pas encore de Recommandations spécifiques sur les niveaux de brouillage maximal admissible dans les canaux des services mobiles par satellite. Toutefois, le Rapport 917 propose un critère de brouillage global équivalant à un rapport porteuse/brouillage d'environ 18 dB et un critère de source de brouillage unique d'environ 23 dB pour les voies téléphoniques MF de 30 kHz avec compression-extension du service mobile maritime par satellite. Les valeurs équivalentes du rapport delta T/T correspondant aux attributions de puissance de bruit données dans le Rapport 917 sont:

delta T/T = 0,12 pour l'ensemble des brouillages;

delta T/T = 0,04 pour une source de brouillage unique.

Il convient de noter que la CAMR ORB-88 a adopté un rapport delta T/T de 0,06 en tant que nouveau seuil à partir duquel la coordination entre systèmes à satellites est nécessaire.

Un complément d'étude s'impose pour calculer les niveaux de brouillage admissibles correspondant à différentes situations, notamment lorsqu'interviennent des modulations et des antennes de stations terriennes mobiles (par exemple, antennes équidirectives) différentes.



## 2.2 Niveau de puissance de brouillage total admissible dû aux signaux de la liaison montante du service dans les répéteurs

Les signaux brouilleurs de la liaison montante du service autres que du même canal provenant de stations terriennes mobiles à faible directivité situées dans des zones couvertes par les faisceaux d'un satellite adjacent peuvent absorber une quantité donnée de la puissance de la liaison de connexion descendante, réduisant ainsi la puissance de la porteuse et la marge d'évanouissement de cette dernière. Plus précisément, les porteuses des liaisons montantes du service d'un système qui ont des assignations à l'intérieur de la bande passante d'un répéteur d'un autre système peuvent augmenter le niveau du bruit thermique dans la liaison descendante de connexion. La liaison descendante de connexion peut avoir une marge suffisante pour faire face à des signaux brouilleurs susceptibles d'être présents dans le répéteur.

Une étude est nécessaire pour déterminer les critères de brouillage effectifs applicables à cette interaction. Il conviendra de tenir compte, entre autres, des facteurs suivants:

- 1) la réduction de la puissance de la porteuse de la liaison descendante de connexion en fonction de la charge imposée par les signaux brouilleurs;
- 2) les projections statistiques de la charge imposée par des signaux brouilleur et utile, et notamment de leurs effets combinés;
- 3) les effets combinés de l'évanouissement et de la charge imposée à la liaison descendante de connexion par les signaux utile et brouilleur;
- 4) les difficultés éventuelles de maintenir le réglage de gain approprié sur les répéteurs;
- 5) l'effet des réductions de la marge d'évanouissement des liaisons descendantes de connexion sur la marge d'évanouissement effectif total englobant la liaison montante à 1,5/1,6 GHz;
- 6) l'efficacité des filtres fixes ou programmables en matière d'affaiblissement de ces signaux brouilleurs;
- 7) la réduction prévue de la puissance de la porteuse pour tenir compte de la dégradation des performances du système dans les systèmes à satellites à faisceaux multiples.

## 3. Discrimination des antennes de satellites

Les satellites assurant une couverture mondiale sont généralement équipés d'antennes couvrant l'ensemble du globe terrestre. Toutefois, l'augmentation de la demande de services mobiles par satellite et l'évolution des besoins relatifs aux systèmes nationaux mènent à l'introduction d'antennes de satellites ayant plusieurs faisceaux ponctuels, cela en dépit de la complexité accrue et des coûts plus élevés. Les discriminations que présentent les deux types de système sont décrites ci-après.

### 3.1 Antennes couvrant l'ensemble du disque terrestre au moyen d'un seul faisceau

Lorsqu'il faut une couverture globale, la zone de service est normalement spécifiée comme zone depuis laquelle l'angle de site du satellite est plus grand qu'une valeur minimale donnée, de 5 ou de 10 degrés, par exemple au-dessous de laquelle la qualité du service ne peut être maintenue. Dans ce cas, l'antenne est généralement conçue pour assurer une couverture avec un gain donné au bord du globe terrestre plutôt qu'au bord de la zone de service.

Les satellites MARECS et INMARSAT II ont une antenne à faisceau modelé à couverture globale dont le gain croît dans la direction des bords du disque terrestre afin d'obtenir une marge plus grande. Les diagrammes de gain nominal pour les antennes des liaisons montantes et descendantes du satellite INMARSAT II se présentent de la manière suivante:

- à 1,5 GHz, 18 dBi à la limite de la zone de couverture et 17 dBi dans l'axe de visée avec un gain maximal de 19,5 dBi (c'est-à-dire un faisceau modelé hémisphérique);
- à 1,6 GHz, 15,5 dBi à la limite de la zone de couverture et 18,5 dBi dans l'axe de visée (c'est-à-dire que le diagramme de la liaison montante est celui d'un faisceau non modelé classique assurant la couverture complète du disque terrestre).

### 3.2 Antennes assurant la couverture au moyen de faisceaux ponctuels multiples

On cherche généralement à obtenir la discrimination en dehors de l'axe principal la plus grande possible par la conception même de ces faisceaux pour faciliter la réutilisation des fréquences à l'intérieur du système. Toutefois, la discrimination vers les stations terriennes mobiles utilisant d'autres réseaux peut également être assez importante et suffisante pour permettre un partage coordonné (c'est-à-dire un fonctionnement dans le même canal dans l'ensemble des zones de service des deux satellites). Le gain vers un point quelconque de la zone de service d'un faisceau sera à moins de 4 à 5 dB du gain du faisceau principal, mais ce gain baisse rapidement à mesure que l'on augmente l'angle par rapport à l'axe principal au-delà de ce point.

Des études théoriques et expérimentales ont été faites pour déterminer les diagrammes de gain réalisable des antennes à faisceaux multiples [NASA, 1982, 1984, 1986; Naderi et autres, 1982] et les résultats ont été appliqués aux systèmes fonctionnant dans d'autres services spatiaux. Voir également les Rapports 558 et 810.

#### 3.2.1 Exemples de concept de système utilisant le gain des antennes du satellite pour permettre la réutilisation des fréquences

Deux exemples de concept de système permettant une réutilisation notable des fréquences sont présentés dans les Annexes I et II. Le premier de ces concepts (Annexe I), fondé sur les recherches effectuées au Canada, utilise des faisceaux ponctuels fixes, alors que le deuxième (Annexe II), fondé sur des recherches effectuées aux Etats-Unis, utilise des faisceaux ponctuels avec direction de pointage assujettie à la fréquence.

### 3.3 Pertinence des zones de service et des zones de couverture

Lorsque, dans une analyse de partage, on prend en considération la discrimination disponible des antennes des satellites, il convient de faire la distinction entre les zones de couverture et les zones de service. La zone de couverture correspond théoriquement à la zone à l'intérieur de la couverture du faisceau de l'antenne du satellite, alors que la zone de service d'un faisceau est la zone à l'intérieur de laquelle est prévue une qualité de service donnée. Aussi, la discrimination des antennes de satellites doit être déterminée dans la direction de la zone de service de l'autre satellite (et non vers sa zone de couverture). Dans le cas d'un satellite à faisceaux ponctuels multiples, il convient d'évaluer séparément chacun des faisceaux de la manière venant d'être décrite.

### 3.4 Emploi des renseignements relatifs de position signalés par les stations terriennes mobiles

Au cas où la discrimination de l'antenne de satellite et d'autres facteurs suffisent pour permettre le partage des fréquences dans une partie seulement de la zone de service d'un autre système, on peut néanmoins réaliser un certain partage si l'équipement de signalisation d'accès et de commande (ESAC) qui assigne les fréquences aux stations terriennes mobiles (STM) dispose de renseignements sur l'emplacement approximatif de ces dernières. Ces renseignements permettent à l'ESAC de déterminer si la station terrienne se trouve dans une zone où, par décision résultant d'une coordination, une assignation de fréquence en partage, et donc la réutilisation de cette fréquence, est possible. Dans un système à faisceau ponctuel à réutilisation interne de fréquences, par exemple, l'ESAC doit savoir par quel faisceau ponctuel la STM est couverte pour pouvoir lui assigner une fréquence réutilisable. Dans un système à faisceau global tel que l'actuel INMARSAT, il doit se fier soit à la STM rendant compte de sa position (si elle n'est qu'approximative) soit à l'ESAC qui a été préalablement informé de la position approximative de la STM (voire une combinaison quelconque des deux méthodes).

INMARSAT applique cette technique de réutilisation des fréquences dans sa nouvelle norme STM en réalisant des ESAC qui ont la capacité d'assigner des fréquences en fonction des éventuels renseignements relatifs à l'emplacement des STM, renseignements qui sont connus parce que, selon sa norme, la STM signale soit le faisceau dont elle dépend (cela pourra se faire à l'avenir, quand INMARSAT disposera de satellites à faisceaux ponctuels), soit les angles de pointage de son antenne, ou encore parce que la zone dans laquelle elle fonctionne est connue. Selon les spécifications actuelles, les stations de norme B, les stations de norme M et les stations terriennes du service mobile aéronautique d'INMARSAT peuvent, en règle générale, indiquer l'angle d'azimut et l'angle de site de l'antenne. De plus, ces stations peuvent identifier et signaler le faisceau étroit du satellite qu'elles utilisent. Il y a toutefois des cas, dans le système INMARSAT, où l'on ne dispose pas d'informations sur l'emplacement de la station terrienne mobile.

Dans la situation de brouillage illustrée par la Figure 1, le partage de fréquences entre les systèmes A et B ne peut avoir lieu dans la zone de chevauchement. Le système A utilise deux bandes, l'une pour le trafic dans la zone de chevauchement (bande 2), l'autre pour le trafic de la zone exempte de chevauchement (bande 1), alors que le système B utilise une bande séparée (bande 3) pour ses STM situées dans la zone de chevauchement, et la même bande (bande 1) que le système A pour son trafic dans la zone exempte de chevauchement. Selon l'emplacement approximatif signalé par la STM (c'est-à-dire le quadrant vers lequel est pointée son antenne), l'ESAC assignera une fréquence de l'une des deux bandes utilisées par le système.

Alors que la technique d'assignation de fréquence en fonction de l'emplacement (AFE) est généralement très utile pour éviter le brouillage, elle s'avère moins efficace dans le cas des satellites à faisceau à couverture globale qui présentent un chevauchement pratiquement total ou pratiquement nul, ou lorsque les deux systèmes doivent pouvoir disposer d'une largeur de bande importante dans la zone de recouvrement. Il y aura une certaine inefficacité au niveau de la capacité de trafic si l'on divise un groupe de fréquences en un certain nombre de groupes plus petits utilisés pour les systèmes individuels, c'est-à-dire qu'il faudra assurer davantage de canaux pour maintenir une même qualité de service dans chacun des groupes plus petits. Un effet négatif peut également se faire sentir sur le coût de l'ESAC et des STM, et sur celui de l'installation et de l'exploitation des STM en raison de la nécessité de fournir des renseignements fiables sur les emplacements à l'ESAC. Il ne serait guère approprié d'introduire ces techniques dans des systèmes existants, tels que le système Norme A d'INMARSAT, mais elles peuvent être utiles pour les systèmes en projet. L'AFE est une technique de plus en plus pratiquée pour traiter des cas de brouillage entre satellites à faisceaux ponctuels et entre satellites à faisceau ponctuel et satellites à faisceau à couverture globale.

Si une STM fonctionne avec un satellite à faisceaux ponctuels, son emplacement parmi les faisceaux ponctuels est connu de l'ESAC par le biais de la fréquence du canal de commande sur lequel fonctionne la station terrienne. En l'absence de faisceaux ponctuels et si les renseignements sur le pointage de l'antenne ne sont pas connus, les STM peuvent signaler leur zone d'utilisation, qui peut être utilisée pour l'assignation des fréquences dans les bandes spécifiques. D'autres techniques sont possibles dans les systèmes de radiorepérage.

#### 4. Discrimination de l'antenne de la station terrienne mobile

##### 4.1 Généralités

Si la zone de service d'un réseau chevauche la zone de couverture d'un autre, le brouillage mutuel est fonction de la séparation orbitale, des caractéristiques de l'antenne de station mobile et du bilan de liaison du satellite de chaque réseau. Dans la présente section on part de l'hypothèse qu'un chevauchement se produit pour un faisceau au moins de chaque système, et que la discrimination de l'antenne de la station terrienne mobile est la seule source d'isolement entre les systèmes dans les zones de chevauchement. L'antenne du satellite fournira des discriminations supplémentaires dans d'autres zones pour faciliter le partage, et on peut utiliser le décalage des fréquences porteuses et la discrimination de polarisation pour accroître l'isolement dans tous les faisceaux.

Pour étudier les relations qui existent entre ces divers paramètres, on peut calculer l'espacement requis en fonction des valeurs de gain de la station terrienne mobile et des autres paramètres du bilan de la liaison.

L'Annexe III définit les équations générales dont on se sert pour calculer l'espacement orbital des satellites lorsque les deux réseaux sont exploités en modulation numérique MDPQ et en supposant qu'ils fonctionnent dans le même canal.

Outre  $\Delta T/T$ , les paramètres dont dépend l'espacement orbital minimal pour la liaison montante sont les suivants:

- le gain dans l'axe des antennes des stations terriennes mobiles du système désiré (qui détermine la p.i.r.e. sur la liaison descendante par porteuse du satellite désiré);

- le diagramme de rayonnement (niveaux du gain dans les lobes latéraux) de l'antenne de la station terrienne mobile réceptrice du système brouilleur;
- le taux de codage (rapport de débit binaire d'information au débit binaire de la voie);
- la marge de protection contre les évanouissements utilisés dans les systèmes brouilleurs, et
- le rapport minimal nécessaire de l'énergie par bit à la densité de puissance du bruit thermique, pour le système brouilleur.

Pour la liaison retour, l'espacement orbital ne dépend pas seulement des facteurs ci-dessus, mais aussi:

- du diagramme de rayonnement (niveaux du gain dans les lobes latéraux) de l'antenne d'émission de la station terrienne mobile du système brouilleur;
- les attributions de bilan du bruit des systèmes utile et brouilleur;
- du rapport entre les températures du bruit des récepteurs des satellites utile et brouilleur;
- des gains des antennes de réception des satellites des systèmes utile et brouilleur, dans la direction de leurs stations mobiles terriennes émettrices respectives, et
- du gain dans l'axe de la station mobile terrienne émettrice du système brouilleur.

On trouvera dans le Rapport 1135 d'autres informations et d'autres méthodes qui peuvent s'avérer utiles pour calculer l'espacement orbital nécessaire entre stations spatiales du service mobile par satellite.

#### 4.2 Exemple de calcul de l'espacement orbital des satellites - Cas d'un système homogène

Le cas le plus simple est celui de deux réseaux à satellite identiques: on parle alors d'un "système à couverture commune homogène". Dans ce cas, les équations utilisées dans le sens espace vers Terre et le sens Terre vers espace sont identiques et la courbe unique de la Figure 2 est suffisamment représentative de la relation qui existe entre l'espacement orbital et le gain d'antenne de la station terrienne mobile.

Dans cet exemple, les paramètres ont les valeurs suivantes:

$$\Delta T/T = 0,1$$

Modulation: MDPQ

Taux de codage: 0,75

$$e_b/n_0 = 3 \text{ dB (avec affaiblissement)}$$

Marge = 5 dB

Les quatre courbes de la Figure 2 ont été calculées pour illustrer les effets d'une série d'hypothèses concernant la discrimination de l'antenne (y compris toute combinaison des effets de discrimination contrapolaire ou copolaire), et notamment:

- 1) L'enveloppe du diagramme de référence pour les lobes latéraux du Rapport 922 du CCIR (ou de l'annexe 3 de l'appendice 29 du Règlement des radiocommunications).
- 2) La référence plus 4 dB - la même que le diagramme de référence, mais avec 4 dB de discrimination angulaire additionnelle, pour tous les angles.
- 3) La référence plus 7 dB - la même que précédemment mais avec 3 dB de discrimination angulaire additionnelle, pour tous les angles.
- 4) La référence plus 11 dB - la même que précédemment, mais avec 4 dB de discrimination angulaire additionnelle, dans la région du lobe latéral seulement.

Ces courbes permettent de conclure que l'utilisation en partage du même canal n'est pas réalisable sur la seule base de la discrimination de l'antenne des stations terriennes mobiles dans les régions où la zone de couverture du faisceau d'une zone recouvre la zone de service de l'autre. Toutefois, la discrimination supplémentaire obtenue par le décalage ou l'intercalage des fréquences peut, avec l'effet conjoint de discrimination de l'antenne de station terrienne mobile, y compris tout découplage par polarisations croisées, permettre des espacements orbitaux plus réduits que ceux de la Figure 2. La discrimination pouvant être obtenue par l'intercalage des fréquences est de l'ordre de 10 dB ou davantage.

#### 4.3 Exemple de calcul de l'espacement orbital des satellites - Cas d'un système non homogène

L'espacement orbital des satellites est plus grand lorsque les deux réseaux n'ont pas les mêmes paramètres de liaison par satellite que lorsqu'ils sont identiques.

L'augmentation de l'espacement est d'autant plus marquée que les caractéristiques des satellites de retour sont différentes.

Par exemple, prenons le cas du signal d'une station mobile dans le sens Terre vers espace, optimisé pour le faisceau d'une station spatiale de réception à couverture globale, brouillant la liaison montante d'un réseau régional adjacent.

Si le réseau adjacent est optimisé pour une station spatiale dont le gain d'antenne de réception est de 10 dB supérieur au faisceau à couverture globale, mais que tous les autres paramètres des deux réseaux sont égaux et si l'on suppose que la discrimination de l'antenne de station terrienne mobile est la seule source d'isolement entre les systèmes (modulation, codage, marge comme dans l'exemple précédent sous 4.2), alors l'espacement orbital sera celui indiqué sur la Figure 3. Comme dans le cas du système homogène, d'autres sources de discrimination venant compléter celle de l'antenne de station mobile faciliteraient l'utilisation de fréquences en partage.

## 5. Intercalage/décalage des canaux

Dans certains cas, il est possible d'améliorer l'utilisation du spectre en intercalant les canaux d'un système avec ceux d'un autre. La grande diversité des canaux utilisés dans les systèmes MSS peut être un atout dans ce domaine. Parmi les facteurs à considérer, lorsque l'on applique cette technique, on citera la modulation, la largeur de bande du canal, l'espacement des canaux, les niveaux de puissance et les niveaux de protection.

Les canaux adjacents à l'intérieur d'un même faisceau d'un système SMS doivent être suffisamment séparés en fréquence pour que leur brouillage mutuel des porteuses soit maintenu à des niveaux acceptables, étant donné l'absence de toute discrimination inhérente autre et la présence d'instabilités de fréquences attribuables à divers effets. Aussi faut-il intercaler les canaux d'un système avec ceux de l'autre. Dans ce cas, les bandes latérales des porteuses modulées dans les canaux d'un système peuvent chevaucher celles des canaux adjacents de l'autre, mais sans que les porteuses ne se recouvrent. Ainsi, le rapport de protection peut être rendu moins contraignant, et cela d'un degré plus ou moins important selon les paramètres de modulation et de codage, la conception des récepteurs, l'importance du décalage des fréquences des porteuses, etc. Dans les systèmes à faisceaux ponctuels multiples, la mesure dans laquelle cette technique peut être utilisée pour faciliter le partage entre systèmes dépend de la mesure dans laquelle elle est également utilisée pour aboutir à la réutilisation des fréquences à l'intérieur du système.

Comme approximation de la mesure dans laquelle l'intercalage de canaux peut réduire les objectifs de brouillage, là où il est réalisable, on a calculé le coefficient d'affaiblissement hors-bande (OBRF) qui résulte des caractéristiques du filtre de réception (voir, par exemple, le Rapport 654). Ces calculs donnent l'OBRF en fonction des largeurs de bande des signaux à fréquence normée (relativement à celle du signal utile) et des caractéristiques de coupure progressive du filtre.

Lorsque les signaux utile et brouilleur ont le même schéma de modulation et sont acheminés sur des canaux ayant une largeur de bande égale, on obtient d'emblée des OBRF de 10 dB environ. Cela devrait permettre d'abaisser les rapports de protection d'environ 7 dB lorsqu'on tient compte du brouillage des canaux intercalés adjacents supérieur et inférieur, mais en réalité, le décalage de fréquence par effet Doppler et d'autres incertitudes relatives à la fréquence font qu'il convient d'adopter un espacement des fréquences plus grand, se traduisant par des valeurs réelles de l'OBRF plus grandes. Il convient de noter que les instabilités de fréquence entraînent une réduction de l'espacement des canaux intercalés supérieurs, tout en augmentant l'espacement des canaux intercalés inférieurs et vice versa, ce qui tend à stabiliser l'OBRF net.

Des études ont montré que le décalage de fréquence des nombreuses porteuses pouvant être utilisées dans les systèmes du SMS permet de réaliser une discrimination nettement supérieure à 10 dB (voir les Rapports 770, 1018, 358, 319, 899, 903 et 525).

Il faut également noter que le décalage des porteuses de satellites adjacents est couramment utilisé dans le service fixe par satellite pour obtenir l'isolement nécessaire entre des activités qui, à défaut, seraient incompatibles. Souvent, ce n'est qu'une faible partie des combinaisons possibles de porteuses dans le même canal/station terrienne qui pose des problèmes, et dès lors on procède à la planification des fréquences de ces porteuses pour obtenir

la discrimination totale nécessaire (voir le Rapport 870). En acceptant de telles contraintes de fonctionnement, qui ne doivent pas nécessairement avoir d'effets réels sur l'ensemble du service, on aboutit à des progrès significatifs dans l'efficacité avec laquelle la ressource orbite/spectre peut être exploitée. Les effets éventuels sur la charge des répéteurs et d'autres questions, nécessitent un complément d'étude.

#### 6. Discrimination de polarisation

On a constaté que les effets de la propagation par trajets multiples à 1,5/1,6 GHz sur les signaux à polarisation circulaire ont une influence considérable sur l'ellipse de polarisation de l'enveloppe du signal composite présente aux éléments d'alimentation des antennes convenant pour le service mobile par satellite (Rapports 884 et 1009). A mesure que le rapport axial de l'ellipse du signal s'écarte de l'unité, la discrimination de polarisation d'une antenne idéale, à polarisation circulaire, diminue. En conditions réelles, le rapport axial de l'ellipse de polarisation fluctue.

La discrimination de polarisation dépend dans une large mesure des caractéristiques des antennes et de leur installation (plate-forme et surfaces rapprochées) de même que de l'environnement dans lequel elles sont utilisées (permittivité et conductivité de la diffusion, éléments de réflexion et de diffraction). Quelques généralités en ce qui concerne les environnements maritime, aéronautique et terrestre peuvent être faites. Dans un milieu maritime, par exemple, on peut disposer, avec des antennes à gain moyen d'une discrimination de polarisation suffisante pour permettre l'application efficace des techniques de suppression par trajets multiples fondées sur cette discrimination (Rapports 1047 et 1048). Par contre, les surfaces réfléchissantes dans les milieux terrestres ont généralement des angles de Brewster plus élevés que celles d'un milieu marin; cela entraînera une plus grande dépolarisation des signaux brouilleurs et, en conséquence, entraînera des discriminations de polarisation plus faibles. Les antennes d'aéronefs peuvent présenter des rapports axiaux élevés pouvant limiter la discrimination de polarisation réalisable.

Un complément d'étude est nécessaire pour déterminer la discrimination de polarisation pouvant être obtenue, cela pour faciliter le partage; toutefois, la présente étude montre qu'il n'y aura qu'un avantage statistique modeste à tirer de l'application de cette technique. Dans certains cas, on n'obtiendra aucune discrimination de polarisation. Une complication éventuelle est que la mise en oeuvre de la discrimination de polarisation peut entraîner des problèmes au niveau de l'exploitabilité entre systèmes mobiles à satellite, dans la mesure où les antennes des stations terriennes mobiles, qui devraient avoir la capacité de fonctionner avec chacune des polarisations, pourraient être complexes et onéreuses.

#### 7. Conclusions

Il existe divers moyens d'améliorer l'isolement entre deux systèmes mobiles à satellites et ainsi de favoriser l'utilisation en partage des fréquences. Dans nombre de situations, il conviendra même d'utiliser ces divers moyens en combinaison. Lorsqu'un des systèmes ou les deux comportent des antennes de satellite à faisceaux multiples, on peut obtenir une discrimination notable dans la plupart des faisceaux. La discrimination pouvant être obtenue avec des antennes de stations terriennes mobiles à gain moyen ou élevé facilite l'exploitation en partage, et peut à elle seule être suffisante pour permettre le partage des fréquences entre systèmes.

La question de l'utilisation en partage des fréquences entre des services mobiles par satellite devrait continuer à être examinée, notamment en vue de mettre au point:

- 1) des méthodes de planification des systèmes à faisceau ponctuel permettant une attribution souple des fréquences et des puissances aux faisceaux, tout en garantissant l'emploi efficace du spectre attribué aux services mobiles par satellite;
- 2) des critères de brouillage admissible pour la coordination des fréquences entre les systèmes;
- 3) des stratégies pratiques pour l'utilisation efficace de l'orbite des satellites géostationnaires et des fréquences attribuées aux services mobiles par satellite, en admettant que certains réseaux seront optimisés en vue d'une couverture régionale et que d'autres seront optimisés en vue d'une couverture globale.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

NADERI, F., et autres [1982], Land Mobile Satellite Service (LMSS): A Conceptual System Design and Identification of the Critical Technologies. (Service mobile terrestre par satellite (SMTS): Conception théorique des systèmes et identification des technologies critiques), JPL Publication 82-19, California Institute of Technology, Pasadena, CA, Etats-Unis, 15 février 1982.

NASA, Proceedings of the Conference on Large Space Antenna Systems Technology. (Débats de la Conférence sur la technologie de systèmes à antenne spatiale de grand diamètre), NASA Conference Publications, Research Information and Applications Division, Langley Research Center, Hampton, VA, Etats-Unis, 1982, 1984 et 1986.

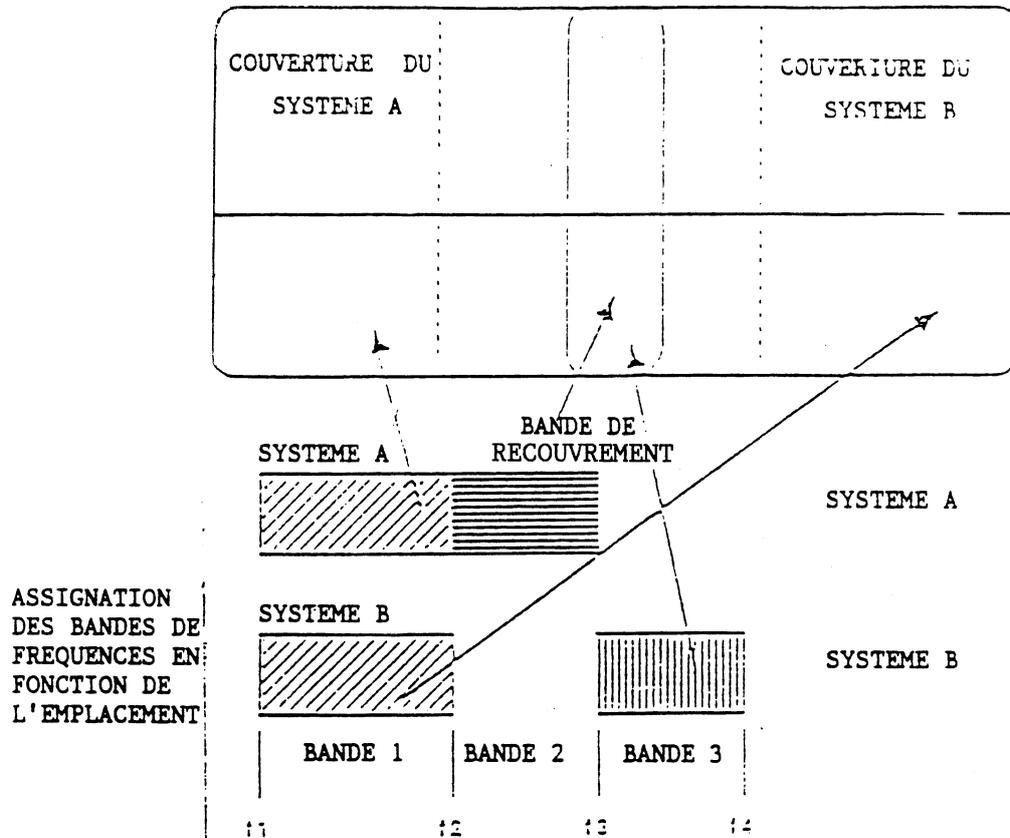


FIGURE 1

Assignment des fréquences en fonction de l'emplacement

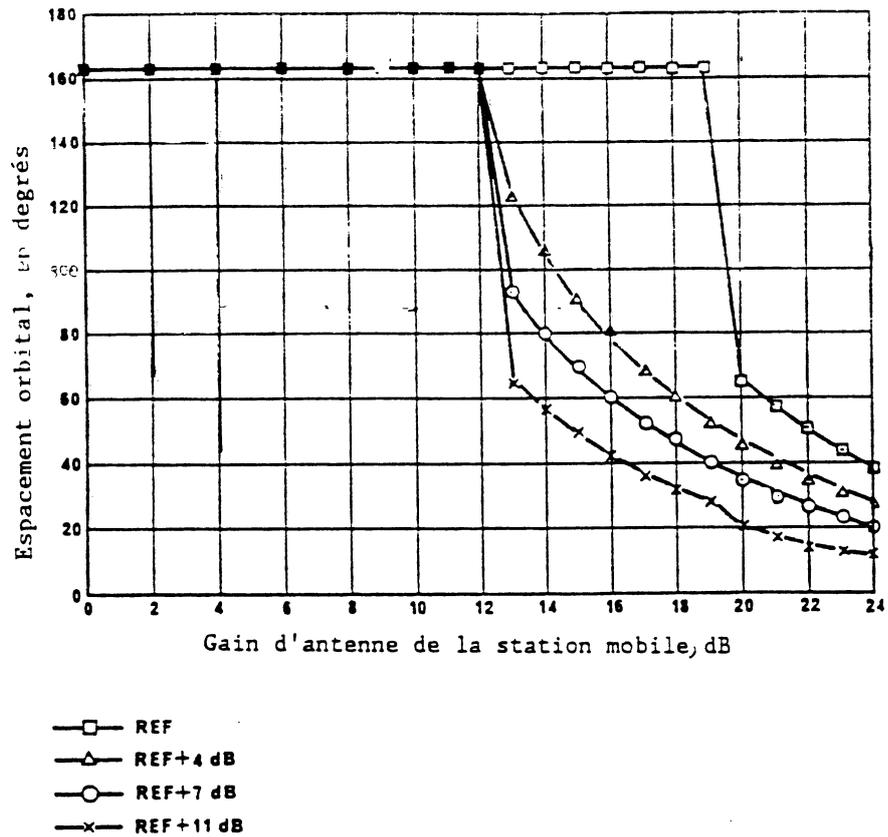


FIGURE 2

Espacement orbital des satellites pour des systèmes homogènes à couverture commune en supposant que les antennes des stations terriennes mobiles sont la seule source de discrimination  
 ( $\Delta T/T = 0,1$ )

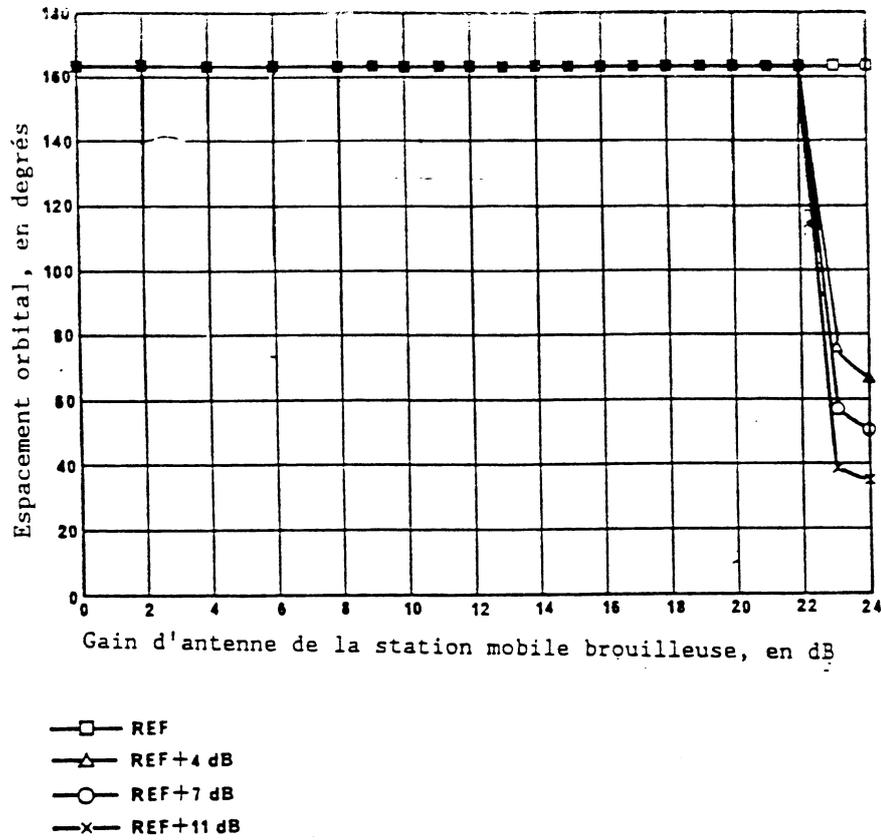


FIGURE 3

Espacement orbital des satellites pour des systèmes non homogènes à couverture commune en supposant que les antennes des stations terriennes mobiles sont la seule source de discrimination (liaison retour,  $\Delta T/T = 0,1$ , gain de l'antenne du satellite utile de 10 dB supérieur à celui du satellite adjacent)

## ANNEXE I

## REUTILISATION DES FREQUENCES A L'AIDE DE FAISCEAUX DIRIGES

1. Introduction

On a procédé à l'examen d'un certain nombre de schémas de réutilisation du spectre au moyen de faisceaux dirigés pour assurer la couverture mondiale et ce, en utilisant les paramètres de conception spécifiés au § 2. Aux fins de discussion, on admet que la valeur totale du spectre disponible est égale à A MHz dans chaque sens de transmission, c'est-à-dire A MHz pour la liaison montante + A MHz pour la liaison descendante, dont B MHz seront utilisés pour les systèmes à satellites mobiles nationaux ou sous-régionaux.

On suppose également que les systèmes desservant les zones océaniques utiliseront des faisceaux globaux, c'est-à-dire des faisceaux qui couvrent la surface du globe comme on peut le voir à partir du satellite, en utilisant la largeur de bande restante, par exemple (A-B) MHz.

Sauf dans des conditions exceptionnelles, telles que celles décrites au § 5, ou lorsque des antennes de stations terriennes mobiles très directives sont utilisées, le spectre, (A-B) MHz, utilisé par ces systèmes à faisceaux globaux ne sera guère disponible pour d'autres systèmes.

Le facteur de réutilisation maximale des fréquences est de 2 et se présente si quatre satellites à faisceau global sont espacés de 90°.

2. Exemple de paramètres de faisceaux dirigés pour la réutilisation des fréquences

Les caractéristiques suivantes appliquées pour la conception des antennes de satellite et utilisées dans les paragraphes qui suivent pour illustrer la notion de réutilisation des fréquences sont celles envisagées pour la mise en oeuvre du premier système mobile à satellites canadien (MSAT).

- Dimensions de l'antenne limitée à 5 m (réflecteur déployable ou réseau d'antennes en phase à charnières);
- espacement angulaire des faisceaux adjacents: environ 2°;
- couverture de l'empreinte des faisceaux: 2,5° x 2,5°;
- rapport porteuse/brouillage global dans le même canal supérieur ou égal à 20 dB (critère C/I utilisé dans les études);
- espacement angulaire des faisceaux pour la réutilisation des fréquences: au moins 5°.

A l'aide d'une conception d'antenne conforme à ces spécifications de base, on a calculé les contours typiques des lobes latéraux. Ces contours sont représentés sur la Figure 4.

### 3. Exemples de réutilisation des fréquences

Les Figures 5 et 6 illustrent le concept d'une structure cellulaire pour l'Amérique du Nord, l'Amérique centrale et l'Amérique du Sud (Région 2). On a adopté dans ce cas une topologie en septet (méthode à sept sous-bandes). Cette méthode divise le spectre disponible en sept segments et utilise ces sous-bandes ( $f_1, f_2, \dots, f_7$ ) comme un bloc fonctionnel pour couvrir la partie terrestre. Pour les exemples indiqués, on admet que les sept sous-bandes sont de dimensions égales et on utilise deux positions orbitales ( $60^\circ$  et  $106,5^\circ$ ) pour illustrer l'étendue de la couverture et le potentiel de réutilisation des fréquences pour cette région sans compter sur la discrimination de l'antenne de la station mobile.

Comme il s'agit uniquement d'un exemple théorique, on n'a pas essayé de modeler dans l'espace et d'orienter les faisceaux vers différentes frontières nationales. Dans la pratique, cela serait fait et les systèmes occupant différentes positions orbitales seraient étroitement coordonnés pour assurer une couverture et une qualité de fonctionnement optimales. On pourrait adopter une méthode faisant intervenir des sous-bandes non uniformes pour tous les cas analysés dans le présent rapport afin de fournir une capacité proportionnelle aux schémas de densité démographique et à la demande de trafic.

Les Figures 5 et 6 démontrent en outre que l'on peut maintenir l'intégrité d'une structure cellulaire de réutilisation des fréquences entre deux positions orbitales très espacées. Les contours elliptiques sont des exemples des niveaux de brouillage causés par des faisceaux dans le même canal, desservis à partir d'une position orbitale dans le système exploité dans l'autre position orbitale. Le facteur de réutilisation des fréquences obtenu aux Amériques pour ces exemples, est égal à environ 3,7.

Cette structure de base peut être développée de façon à couvrir les masses terrestres contenues dans les Régions 1 et 3 de l'UIT.

Pour assurer une couverture totale de la Région 1, il faudrait 27 faisceaux, d'où un facteur de réutilisation de l'ordre de 3,9. De même, 29 faisceaux seraient nécessaires pour la Région 3, ce qui se traduirait par un facteur de réutilisation environ égal à 4,1. Le potentiel global de réutilisation du spectre conséquent est la somme de tous les facteurs de réutilisation, qui est proche de 12.

### 4. Moyens pour prendre en charge des systèmes indépendants

Après avoir étudié un schéma pour la couverture mondiale de toutes les parties terrestres, il y a lieu d'examiner comment ce schéma idéal peut être affecté par la nécessité de prendre en charge des systèmes nationaux et/ou régionaux susceptibles d'intervenir. Deux cas sont discutés ci-après.

Dans le premier cas, l'Amérique du Nord pourrait être desservie par deux systèmes distincts qui assureraient à eux deux la couverture de la Figure 5, pour autant que des accords internationaux adéquats soient mis en place pour tenir compte des cas où la couverture d'un pays serait assurée par le satellite d'un autre. Sur la base de ces hypothèses, on n'aurait pas besoin de modifier les schémas représentés sur la Figure 5.

Dans le second cas, quand une grande étendue terrestre est desservie par plusieurs systèmes destinés à desservir des zones adjacentes, il est évident que les faisceaux ponctuels de deux systèmes ou davantage, peuvent se recouvrir. En pareil cas, chaque système qui dessert une partie de la zone en question, doit utiliser des canaux différents dans la zone de recouvrement, à moins qu'une discrimination notable soit assurée par l'antenne de la station terrienne. Cela devient donc une question de coordination des fréquences.

5. Dispositions pour admettre une distribution du trafic non uniforme

Le schéma mondial de réutilisation des fréquences mis au point doit être capable de prendre en charge non seulement plusieurs systèmes nationaux et régionaux, mais différents niveaux d'utilisation à travers les parties terrestres afin d'optimiser l'efficacité de l'utilisation du spectre. Pour ce faire, on peut recourir essentiellement à deux méthodes. La première implique l'emploi de sous-bandes inégales au sein du spectre des fréquences disponibles de B MHz. La seconde nécessite la réutilisation choisie de certaines parties du spectre assignées pour la couverture globale dans des zones où le brouillage avec les faisceaux globaux est limité par la Terre.

6. Résumé

La présente Annexe montre qu'il est possible d'améliorer l'efficacité du spectre grâce à une réutilisation des fréquences et ce, en recourant à des faisceaux étroits et à une séparation géographique des zones de couverture.

Grâce aux progrès technologiques qui permettraient d'obtenir des antennes de satellite plus grandes, la capacité de réutilisation des fréquences serait considérablement améliorée. Ce dernier développement n'exigera pas nécessairement un remaniement important des schémas de couverture mondiale examinés étant donné que les structures des faisceaux étroits s'adapteront, pour l'essentiel, aux contours globaux des structures élaborées dans le cas présent.

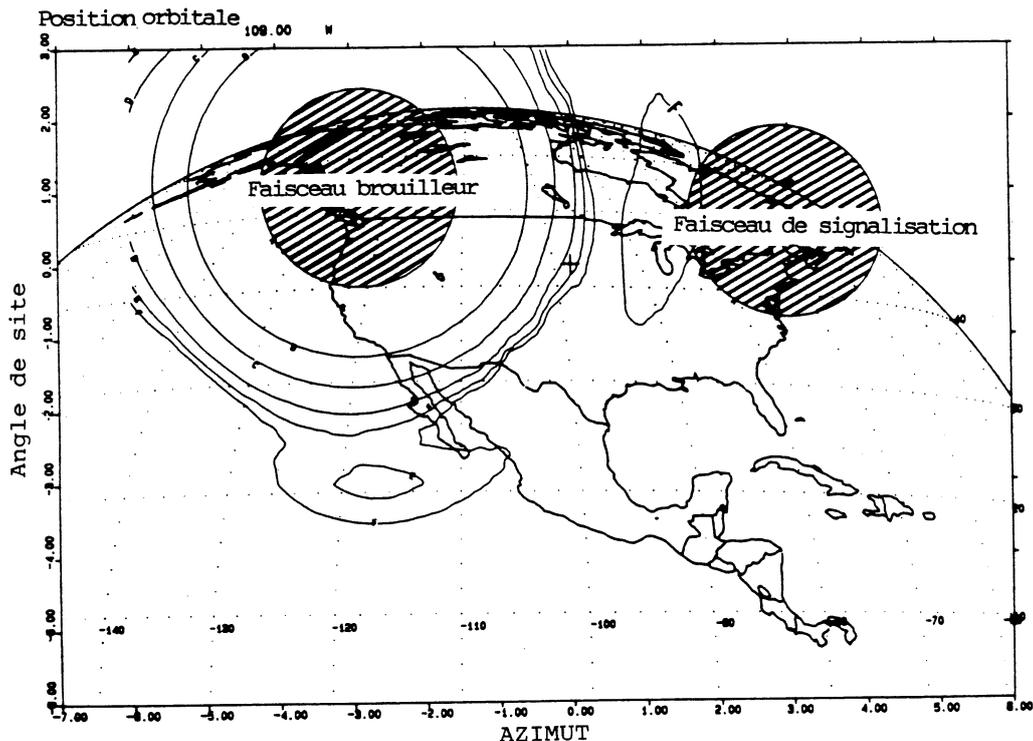


FIGURE 4

Contours typiques pour une réutilisation des fréquences  
tous les trois faisceaux

FACTEUR DE REUTILISATION DES FREQUENCES = 1,7

A = 3 dB  
 B = 20 dB  
 C = 25 dB

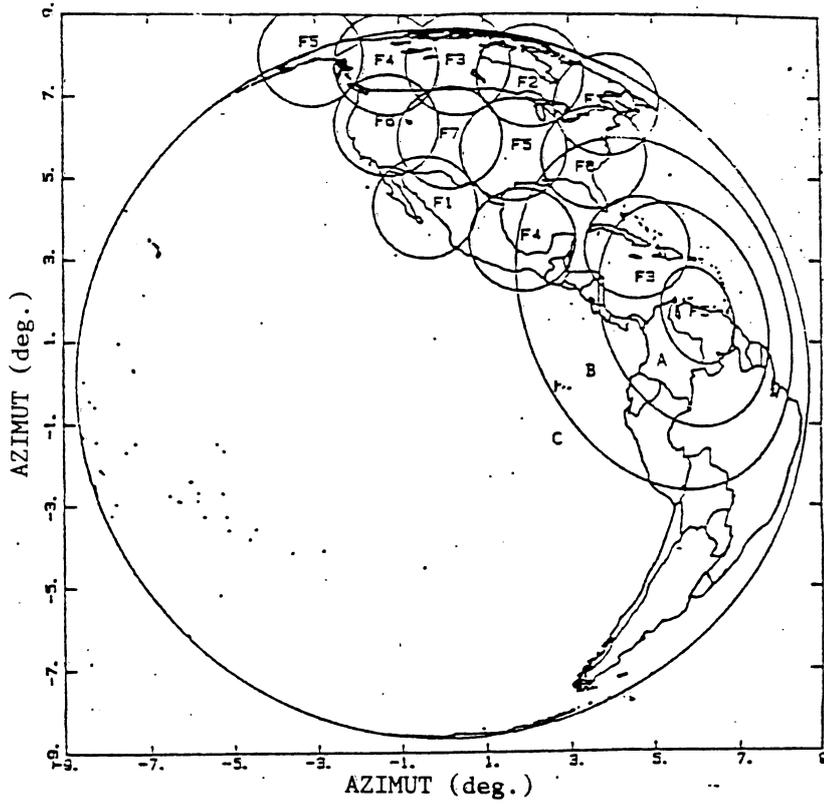


FIGURE 5 - L'Amérique du Nord observée à partir de 106,5 degrés Ouest

FACTEUR DE REUTILISATION DES FREQUENCES = 2,0

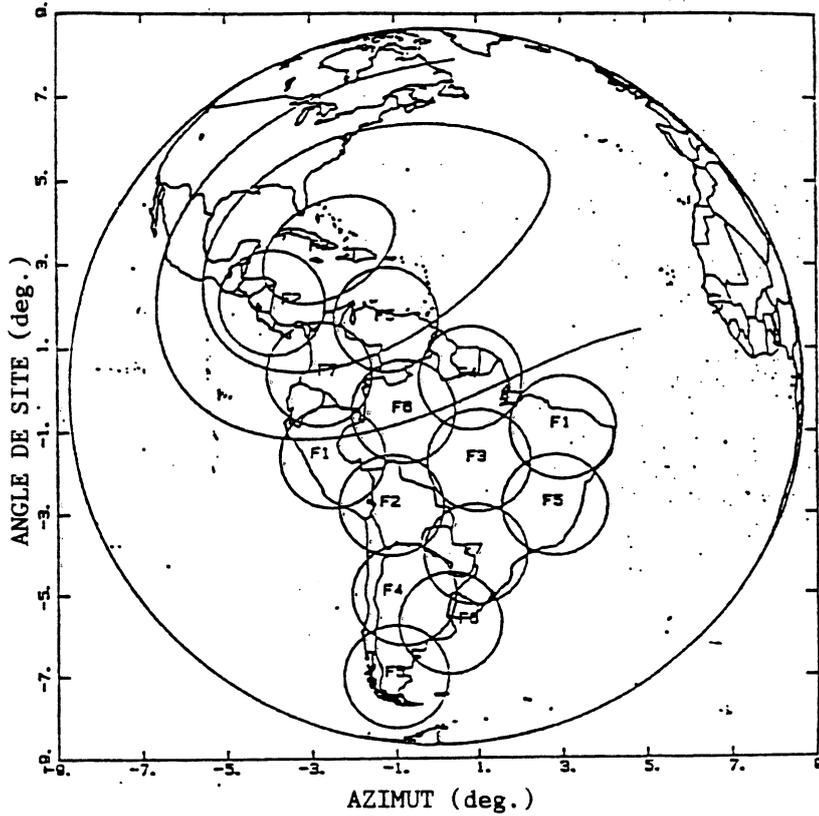


FIGURE 6 - L'Amérique centrale et l'Amérique du Sud observées à partir de 60 degrés Ouest

## ANNEXE II

REUTILISATION DES FREQUENCES AU MOYEN DE FAISCEAUX EN EVENTAIL  
ADRESSABLES EN FREQUENCE1. Notion de faisceau en éventail adressable en fréquence1.1 Généralités

On assure la couverture d'une zone étendue par un faisceau à éventail étroit en dirigeant l'axe du faisceau sur l'azimut de chaque utilisateur. Cela s'obtient par l'utilisation d'une antenne-réseau dont les éléments sont pilotés par des signaux déphasés en fonction de la fréquence, ce qui provoque la déviation du faisceau en des directions différentes, pour différentes fréquences de la porteuse. L'affectation, à la demande, des intervalles de temps de la porteuse optimise simultanément le gain d'antenne du satellite pour un grand nombre d'utilisateurs répartis sur une zone étendue.

1.2 Réseau conformateur du faisceau

Pour les éléments de l'antenne, les déplacements de phase en fonction de la fréquence sont obtenus dans un réseau conformateur du faisceau, constitué d'une série alternée de coupleurs et d'éléments de retard. A chacun des points de pilotage de l'antenne est affecté un coupleur. Les coefficients de couplage peuvent être ajustés de façon à obtenir la distribution de puissance d'antenne souhaitée. Les éléments de retard peuvent être des longueurs adéquates de ligne de transmission ou, pour les systèmes à bande étroite, des réseaux convenablement conçus d'éléments agglomérés.

Un réseau dense, à deux dimensions, de doublets à réflecteur en coupe et à polarisation circulaire est en cours d'évaluation. Il servira à la conception de l'antenne-réseau. Le réseau compte 32 colonnes et les doublets peuvent être orientés par paires, si bien qu'il n'est besoin que de 16 points de pilotage. Le réseau forme des faisceaux à l'émission et à la réception. Cela rend nécessaire l'utilisation de duplexeurs à chaque point de pilotage.

2. Réutilisation des fréquences

Pour réutiliser le spectre dans la bande 1,5/1,6 GHz, on divise la zone de service en zones, dans chacune desquelles on utilise la totalité du spectre attribué. Dans chaque zone, la fréquence inférieure de la bande est dirigée vers le bord ouest de la zone, et la fréquence supérieure, vers le bord est. Ainsi, là où les zones se touchent, la fréquence la plus élevée d'une zone coïncide avec la fréquence la plus basse de l'autre. Le brouillage causé par cette utilisation multiple simultanée de chaque canal de fréquences est maintenu dans des limites acceptables par l'emploi d'une illumination répartie de l'antenne-réseau, ce qui donne des niveaux suffisamment bas dans les lobes latéraux.

### 3. Avantages des réseaux actifs au plan de la qualité

La qualité des communications est accrue par l'emploi d'amplificateurs de puissance et de récepteurs à faible bruit en chaque point de pilotage de l'antenne, de sorte que l'affaiblissement d'insertion des réseaux de conformation de faisceau n'affecte ni le rendement de l'émetteur ni la sensibilité du récepteur. Afin d'éviter les coûts de conception et de production d'amplificateurs pour de nombreux niveaux différents de puissance, les différentes puissances nécessaires aux éléments du réseau sont produites par des amplificateurs doubles à couplage hybride. Dans cette disposition, tous les amplificateurs fonctionnent au même niveau de puissance, bien que leurs puissances d'entrée et de sortie soient différentes. Cette solution présente l'avantage supplémentaire de disperser géographiquement les produits d'intermodulation, réduisant ainsi leur niveau aux emplacements des utilisateurs. Toutefois, quelques produits d'intermodulation sont dirigés hors de la zone de service, ce qui pourrait affecter l'utilisation de ces fréquences par des réseaux à satellite adjacents. Un supplément d'étude est nécessaire pour évaluer l'importance de cette gêne.

### 4. Résumé

L'utilisation de faisceaux adressables en fréquence, produits par une antenne-réseau active, permet d'obtenir un gain d'antenne élevé sur une large zone et autorise l'utilisation multiple du spectre dans la bande 1,5 - 1,6 GHz. L'organisation des amplificateurs de puissance, selon laquelle chacun d'eux intervient dans l'amplification de tous les signaux, donne un maximum de souplesse à l'assignation de puissance. Le répéteur étant linéaire, la puissance directe de chaque signal est déterminée par la puissance de la liaison montante depuis la station de base. L'utilisation, à la station de base, d'une régulation de puissance permet de faire varier l'attribution de la puissance du satellite pour compenser la variation du gain d'antenne chez les divers utilisateurs mobiles, ainsi que leurs positions relativement aux diagrammes des antennes de l'engin spatial. En outre, la totalité de la puissance dans la bande 1,5 - 1,6 GHz de l'engin est disponible pour toute répartition du trafic. La dispersion géographique des produits d'intermodulation dans la bande 1,5 - 1,6 GHz réduit leur niveau aux emplacements des utilisateurs et autorise ainsi l'emploi d'émetteurs plus efficaces.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

JOHANNESSEN, K.G. [juillet 1987] "Scan Beam Antenna Intermodulation Improvement Due to Spatial Dispersion"; IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-23, N° 4, p. 543-557.

ROSEN, H. [1987] "Frequency Addressable Beams for Satellite Communications", Telecom 87, Genève.



## ANNEXE III

FACTEURS D'ESPACEMENT ENTRE SATELLITES POUR LES  
RESEAUX NUMERIQUES MOBILES A SATELLITE1. Protection contre les brouillages satellite-Terre

En utilisant la même notation que dans l'appendice 29 du Règlement des radiocommunications, on a trouvé, pour calculer l'espacement minimal des satellites [Sue et autres, 1988] pour assurer une protection contre le brouillage sur le trajet descendant, la formule suivante:

$$\theta^{-2.5} = \frac{(\Delta T/T) g_4^{0.5} g'_4}{(3,8 \times 10^5) (2 \rho') m' (E_b/N_o)'}$$

où les paramètres supplémentaires sont les suivants:

- $(E_b/N_o)'$  : énergie minimale requise par bit de données/densité de puissance de bruit pour la liaison par satellite adjacente brouilleuse;
- $\rho'$  : taux de codage (débit binaire d'information/débit binaire de voie) utilisés dans le système adjacent;
- $m'$  : marge pour l'évanouissement utilisée dans le système adjacent;

et dans l'hypothèse d'un format de modulation de voie MDPQ.

2. Protection contre le brouillage Terre-satellite

L'espacement minimal entre satellites pour assurer la protection contre le brouillage dans le sens Terre vers espace est donné par la formule [Sue et autres, 1988]:

$$\theta^{-2.5} = \frac{[\Delta T/T] [a/a'] [T_s/T'_s] [g'_2(\delta)/g_2(\delta)] [g'_1]^{1.5}}{(3,85 \times 10^5) (2 \rho') m' (E_b/N_o)'}$$

où les nouveaux facteurs  $a$  et  $a'$  ont été introduits pour traduire la relation entre le bruit sur le trajet montant et le bruit total sur la liaison station mobile-satellite de la Terre, c'est-à-dire:  $a = T/\gamma T_s$  et  $a' = T'/\gamma' T'$ .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

SUE, M. et autres, [février 1988] - Intersystem technical and operational sharing considerations in the mobile-satellite services, NTIA TN-88-3, National Telecommunications and Information Administration [Etats-Unis d'Amérique].

## ANNEXE IV

EVALUATION DE LA CAPACITE THEORIQUE MAXIMALE DE L'ORBITE  
DES SATELLITES GEOSTATIONNAIRES EN MATIERE DE LIAISONS DE  
COMMUNICATION DES RESEAUX DU SERVICE MOBILE PAR SATELLITE  
FONCTIONNANT DANS LA BANDE 1,5/1,6 GHz1. Introduction

La présente Annexe a pour objet d'évaluer le nombre total de canaux de télécommunication qu'il est en théorie possible d'assurer dans une zone donnée de grande superficie au moyen de systèmes mobiles à satellites fonctionnant dans la bande 1,5/1,6 GHz du spectre des radiofréquences. Il s'agit d'évaluations de la capacité maximale en fonction des diverses combinaisons de paramètres techniques des systèmes mobiles à satellites examinées dans le rapport proprement dit. L'évaluation porte uniquement sur le nombre de circuits téléphoniques, ou son équivalent, dont on pourrait disposer dans diverses circonstances; aucune tentative n'est faite de convertir ces valeurs en nombre de bits de données par seconde ou de nombre d'Erlangs pouvant être acheminés.

L'analyse contient en fait une première évaluation de la mesure dans laquelle la ressource orbite/spectre à 1,5/1,6 GHz est suffisante pour répondre aux besoins du trafic des services mobiles par satellite, et de donner l'ordre de grandeur de l'amélioration de l'exploitation de la ressource spectre/orbite par l'emploi des diverses techniques examinées dans le présent Rapport.

2. Définition de la portée de la présente analyse

Pour les besoins de la présente analyse, on désignera par "capacité" le nombre de circuits téléphoniques duplex qui pourrait être obtenu dans toute zone de service de grandes dimensions. Cela peut être utilisé pour comparer différentes techniques de préservation du spectre dans la conception et l'exploitation des systèmes mobiles à satellites. L'étude part de l'hypothèse que ces techniques sont utilisées dans les bandes 1 530 à 1 544 MHz, 1 545 à 1 559 MHz, 1 626,5 à 1 645,5 MHz et 1 646,5 à 1 660,5 MHz, et que l'on dispose, dans chaque sens, d'une largeur de bande de 28 MHz. Aucune tentative n'a été faite de répartir cette capacité entre les services mobiles aéronautique, terrestre et maritime par satellite.

3. Techniques pour économiser le spectre

Plusieurs techniques ayant pour but d'économiser le spectre peuvent être envisagées. Les trois techniques qui ont été retenues dans la présente étude sont:

- i) l'espacement des faisceaux d'antennes de satellites entre systèmes;
- ii) l'espacement des faisceaux d'antennes de terminaux de stations terriennes entre systèmes;
- iii) l'emploi des techniques de modulation à bande étroite pour le codage des voies téléphoniques.



### 3.1 Isolement des antennes des satellites

Certains satellites comportent des antennes à couverture globale, d'autres sont prévues pour fonctionner avec des antennes plus complexes assurant des faisceaux individuels de  $2^\circ$  d'ouverture. Pour les besoins de la présente estimation, on considère que ces faisceaux ponctuels multiples couvrent toute la partie du globe qui est visible depuis l'orbite des satellites géostationnaires (OSG), comme illustré dans la Figure 7. Les diverses couvertures des faisceaux de cette figure ne proviennent pas nécessairement du même satellite; elles peuvent provenir de satellites différents occupant des emplacements orbitaux similaires, c'est-à-dire des emplacements trop rapprochés pour que l'on puisse obtenir un isolement réel entre les systèmes par la directivité des antennes des terminaux terriens.

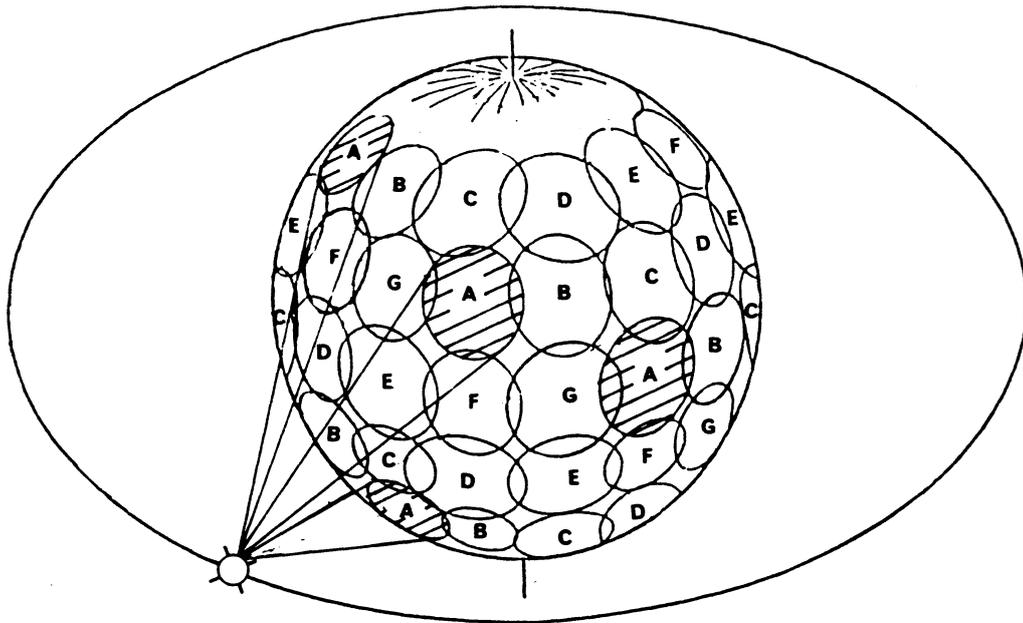


FIGURE 7

Réutilisation des fréquences depuis un emplacement orbital unique

### 3.2 Isolement des antennes des terminaux terriens

Les terminaux terriens des systèmes mobiles à satellite disposent généralement d'une discrimination d'antenne relativement faible (voir le Rapport 1047) contrairement à ceux du service fixe par satellite où la discrimination de l'antenne est suffisante pour permettre l'utilisation d'espacements orbitaux de  $2^\circ$  à peine. La Figure 8 est une illustration de la manière dont cette discrimination peut permettre la réutilisation,  $\theta$  étant l'angle entre les positions orbitales.

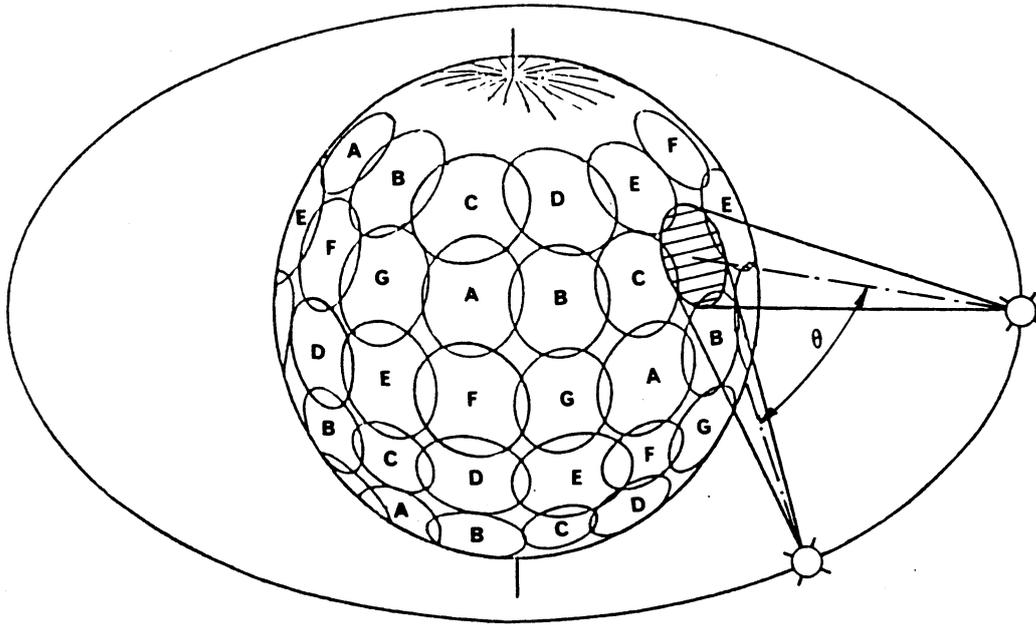


FIGURE 8

### Réutilisation des fréquences dans une même zone de couverture

### 3.3 Techniques de modulation et largeurs de bande des canaux associées

On utilise et on envisage diverses techniques de modulation pour les systèmes mobiles à satellites. Certains systèmes font appel à la MF analogique avec un espacement des canaux de 50 kHz. Dans d'autres cas, on aboutit à des largeurs de bande réduites en faisant un compromis entre la largeur de bande, la puissance et la qualité. Il y a actuellement en projet des systèmes dont l'espacement des canaux sera de 5 kHz.

#### 4. Hypothèses en matière de paramètres des systèmes

##### 4.1 Taille du faisceau de l'antenne de satellite

Actuellement on met au point des systèmes hautement raffinés qui utiliseront des antennes à faisceaux multiples de 2° d'ouverture environ, couvrant 1 à 2 millions de kilomètres carrés selon l'angle de site du satellite vu depuis la zone de service (voir les Figures 7 et 8). Près d'un septième de la largeur de bande existante est disponible dans une zone de service quelconque, en partant de l'hypothèse d'une répartition uniforme des canaux entre les faisceaux, et en supposant que les faisceaux utilisent les mêmes fréquences ou des fréquences espacées d'environ 2 largeurs de faisceau.

##### 4.2 Espacement sur l'OSG entre satellites utilisant la même bande de fréquences

Certaines stations terriennes mobiles peuvent utiliser des antennes orientables ayant une ouverture de plusieurs dizaines de degrés dans la direction de l'azimut. En l'absence de toute autre discrimination, l'espacement minimal de satellites utilisant la même bande et desservant des terminaux terriens ayant de telles antennes est de l'ordre de 90° sur l'OSG.

##### 4.3 Nombre de canaux disponibles

Si l'on disposait de deux fois 28 MHz de largeur de bande, on disposerait de 560 canaux duplex sur cette largeur de bande en cas d'utilisation d'un découpage en canaux de 50 kHz, ou de 5 600 canaux duplex en cas de découpage très élaboré en canaux de 5 kHz.

#### 5. Capacité disponible dans une zone de service quelconque

##### 5.1 Capacité disponible aux latitudes élevées

Si l'on part de l'hypothèse que les satellites sont espacés de 90° sur l'OSG (voir la section 4.2), un seul satellite sera visible aux hautes latitudes. Dans cette situation, et en cas d'utilisation de faisceaux ponctuels pour permettre la réutilisation des fréquences depuis une position orbitale donnée, un septième du total des canaux (à savoir 80 à 800 canaux selon leur largeur de bande), sera disponible dans une zone de service donnée.

##### 5.2 Capacité disponible aux basses latitudes

Aux basses latitudes, deux satellites espacés de 90° sont visibles depuis un point donné, et dans ce cas on peut utiliser des antennes ayant une discrimination suffisante pour permettre l'emploi des fréquences en partage. Dans une telle situation, le nombre total de canaux disponibles peut être le double de celui que l'on peut obtenir aux latitudes élevées (c'est-à-dire de 160 à 1 600, selon la largeur de bande).

---