

SECTION 10/11D: PLANIFICATION

RAPPORT 633-3

**PLANIFICATION DE LA RESSOURCE ORBITE-SPECTRE
DANS LE SERVICE DE RADIODIFFUSION PAR SATELLITE**

(Question 1/10 et 11, Programme d'études 1A/10 et 11)

(1974-1978-1982-1986)

1. Introduction

La mise en place de services de radiodiffusion par satellite pour les pays d'une région donnée exige, si l'on veut limiter les brouillages à un niveau acceptable, une planification minutieuse pour l'allotissement des fréquences et le choix des emplacements des satellites. Le présent Rapport traite des problèmes de planification, principalement pour la bande des 12 GHz. On y trouvera également l'indication des facteurs qui interviennent dans l'établissement des plans, ainsi que les méthodes permettant d'évaluer la réussite probable et l'efficacité d'un plan.

On mentionnera tout d'abord les caractéristiques de planification suivantes parce qu'elles sont de caractère général et parce qu'elles s'appliquent aux services fonctionnant dans toutes les bandes concernées:

- on admet que tous les services de radiodiffusion par satellite du même type destinés à une même zone de service sont généralement assurés à partir de la même position de l'orbite des satellites géostationnaires pour permettre l'utilisation d'antennes de réception fixes. Il existe certaines exceptions importantes, telles que les services destinés à des auditoires différents (par exemple, les programmes pour réception individuelle et les programmes pour réception communautaire), les besoins de zones de service exceptionnellement importantes qui sont satisfaits en utilisant plus d'un satellite par zone de service et des services fournis à des zones de recouvrement intentionnel entre zones de service à l'intérieur du territoire d'une administration (par exemple, pour permettre au territoire d'être desservi par un plus petit nombre de satellites que le nombre autorisé durant les phases initiales de mise en œuvre du plan);
- pour déterminer le rapport signal utile/signal brouilleur dans le cas de plusieurs signaux brouilleurs, on peut calculer le signal brouilleur total en faisant la somme des puissances des différents signaux brouilleurs reçus par l'antenne;
- chaque fois que possible, les zones de couverture devraient correspondre au minimum nécessaire pour assurer la couverture désirée;
- dans le cas où l'on s'est entendu sur un plan fondé sur certains facteurs techniques (par exemple, la largeur des canaux et l'écartement entre fréquences assignées), une administration peut quand même mettre en œuvre des systèmes dont les facteurs diffèrent de ceux qui ont été adoptés, à la condition que cela n'entraîne pas une augmentation des brouillages ou n'exige pas davantage de protection contre les brouillages que si cette administration s'était conformée aux caractéristiques adoptées;
- si l'on envisage de mettre en place pour commencer un service de radiodiffusion par satellite avec réception communautaire et ultérieurement des services de radiodiffusion par satellite pour réception individuelle dans la même bande de fréquences, il convient que ces deux services utilisent le même système de modulation pour assurer une meilleure compatibilité. Dans ces circonstances, il faudrait aussi envisager des critères de partage tenant compte des caractéristiques des services de radiodiffusion qui seront demandés à un stade ultérieur. Cependant, si un système a été conçu pour fonctionner en permanence en réception communautaire, sans qu'il soit prévu d'utiliser par la suite la même bande de fréquences pour la réception individuelle, il pourrait être superflu d'adopter des critères de partage plus stricts que ceux nécessaires pour le système projeté;
- tous les signaux provenant d'une même position orbitale et destinés au même auditoire devraient, en règle générale, avoir la même polarisation; cependant, lorsque les besoins en matière de service sont exceptionnellement importants, on peut être obligé d'utiliser les deux polarisations (sur des canaux entrelacés comme il est indiqué au § 2.1.2) à partir d'une même position orbitale et à destination du même auditoire.

Les § 2 à 8 traitent de la planification dans la bande des 12 GHz, en termes généraux. Les § 9 et 10 portent respectivement sur les résultats de la planification dans la bande des 12 GHz, dans les Régions 1 et 3 et dans la Région 2. Le § 11 concerne la planification des satellites de radiodiffusion dans d'autres bandes et le § 12 traite des fonctions du service d'exploitation spatiale.



2. Directives en vue d'une planification efficace

2.1 Principes généraux

Dans tout travail de planification, on devrait appliquer les principes ci-après dans la mesure du possible et en tenant compte des conditions de service propres à chaque administration, afin d'obtenir une grande efficacité d'utilisation de l'orbite et du spectre.

2.1.1 *Polarisations orthogonales*

La polarisation orthogonale permet de réduire considérablement les brouillages mutuels et, partant, de mieux utiliser le spectre-orbite. Utilisée en même temps que la technique de l'entrelacement des fréquences, la polarisation orthogonale peut assurer une discrimination suffisante pour permettre la réutilisation de la bande de fréquences dans le même système à satellites. Mise en œuvre dans des satellites adjacents, elle apporte une discrimination supplémentaire qui peut, dans bien des cas, permettre de diminuer environ de moitié l'espacement entre ces satellites. Pour certains systèmes, le fait de maintenir l'angle de polarisation correct dans toutes les installations de réception peut donner lieu à des complications non souhaitables et cette question doit être étudiée avant l'application de ce principe. L'emploi de cette technique est également étudié dans les Rapports 555 et 814.

Il convient de remarquer que ce principe n'implique pas que les satellites adjacents doivent nécessairement utiliser des polarisations orthogonales. Ils doivent plutôt utiliser la polarisation de la manière la plus efficace. Par exemple, si les zones de service de deux satellites sont suffisamment éloignées, ceux-ci peuvent occuper des positions très voisines, même avec une polarisation identique. Un troisième satellite, desservant une zone beaucoup plus proche de la zone de service du premier, pourrait alors utiliser la polarisation orthogonale.

2.1.2 *Entrelacement des fréquences*

Pour réduire les brouillages, on a recours à l'entrelacement des fréquences, c'est-à-dire à la technique qui consiste à décaler les fréquences porteuses d'un satellite (ou d'un ensemble de répéteurs d'un satellite) par rapport aux fréquences porteuses d'un autre satellite. Le principe proposé ici consiste à utiliser cette technique chaque fois que les conditions le permettent, d'une manière qui assure l'utilisation la plus efficace du spectre-orbite. D'une manière générale, cela signifie que les fréquences doivent être entrelacées entre des satellites relativement proches les uns des autres, mais ne doivent pas être entrelacées pour des satellites desservant des zones très éloignées. De même, une administration à qui un bloc de fréquences est assigné pour une position orbitale donnée, peut choisir d'utiliser des voies contiguës, non entrelacées.

On peut rencontrer des difficultés dans l'application du principe de l'entrelacement des fréquences lorsque des systèmes différents utilisent des répéteurs de largeurs de bande très différentes émettant sur plusieurs porteuses. Le recours à l'entrelacement des fréquences peut encore comporter certains avantages, mais le principe doit être énoncé d'une manière plus générale pour éviter la coïncidence des fréquences porteuses.

2.1.3 *Géométrie des trajets croisés*

Par géométrie des trajets croisés, on entend le principe selon lequel on peut obtenir des améliorations considérables de l'utilisation du spectre-orbite si des satellites adjacents desservent des zones séparées par au moins une autre zone de service intermédiaire. Si la zone de service intermédiaire est relativement grande, les satellites adjacents peuvent être placés relativement près les uns des autres.

2.1.4 *Groupement*

Les administrations dont les besoins de service dépassent la capacité d'un seul satellite peuvent choisir de placer deux satellites ou plus sur une seule position orbitale nominale. Ce groupement de satellites peut permettre à la totalité de la bande disponible d'être utilisée pour une zone de service déterminée et ce, à partir d'une seule position orbitale. Il faudra peut-être séparer légèrement les satellites ayant la même position orbitale nominale afin d'éviter les collisions, des brouillages excessifs sur les liaisons de connexion, etc.

2.1.5 *Homogénéité des systèmes*

L'utilisation de l'orbite aurait une efficacité maximale si tous les satellites situés sur une même partie de l'orbite émettaient la même p.i.r.e. par signal de télévision. Toutefois, un certain manque d'homogénéité entre les divers systèmes peut s'expliquer du fait que des marges de propagation différentes sont nécessaires d'une zone de service à une autre, en raison de la diversité des valeurs du rapport G/T des stations de réception des différents systèmes, etc. L'effet de cette absence d'homogénéité sur l'efficacité d'utilisation de l'orbite doit faire l'objet d'un complément d'étude. On trouvera des renseignements à ce sujet dans le Rapport 453.

2.1.6 *Considérations relatives aux liaisons de connexion*

Le Rapport 952 a traité à la planification des liaisons de connexion. Lorsque des liaisons de connexion et des liaisons descendantes sont planifiées en même temps, on peut tirer parti des compromis possibles en étudiant simultanément la qualité globale de fonctionnement des liaisons de connexion et des liaisons descendantes. Cela vaut notamment pour les conditions applicables au rapport de protection et à la dispersion de l'énergie (voir le Rapport 215).

Il peut y avoir des cas où les zones de service de la liaison de connexion et de la liaison descendante ne coïncident pas. Par exemple, une administration dont le territoire s'étend sur plusieurs fuseaux horaires peut souhaiter desservir chacun d'eux à partir d'une position orbitale différente, cela afin d'obtenir une meilleure protection contre les éclipses, tout en conservant la possibilité d'accéder à chaque satellite de tout point de son territoire où l'angle de site est adéquat. Ces questions ont été étudiées attentivement par la CARR SAT-83, qui a mis en relief les avantages découlant d'une planification simultanée des liaisons de connexion et des liaisons descendantes.

2.1.7 *Rapport de protection*

Pour une seule source de brouillage, le rapport de protection adopté pour le plan de la CAMR-RS-77 dans les Régions 1 et 3 est de 35 dB. D'après le diagramme de rayonnement de l'antenne d'émission du satellite donné à l'Appendice 30 du Règlement des radiocommunications, on obtient une discrimination de 35 dB pour une séparation entre zones de service de 5,2 fois la largeur de faisceau et une discrimination de 30 dB pour une séparation de 1,58 fois la largeur de faisceau. Pour cette dernière valeur de la séparation, la condition pour que la protection soit égale à 35 dB n'est donc pas satisfaite. Cependant, l'influence sur la capacité de l'orbite-spectre serait importante, si on pouvait accepter une valeur de 30 dB pour une contribution unique de brouillage en tant que compromis afin d'accroître la capacité de l'orbite-spectre ou d'améliorer la souplesse dans le choix des emplacements des satellites de radiodiffusion.

La CARR SAT-83 a adopté un rapport de protection dans le même canal global de 28 dB pour la Région 2, ce qui correspond à un rapport de protection d'environ 32 dB pour un brouilleur unique. C'est l'une des raisons pour lesquelles le Plan pour la Région 2 a permis d'utiliser, dans certains cas, un espacement entre satellites plus petit que dans le Plan pour les Régions 1 et 3.

2.2 *Considérations d'ordre géographique*

Les caractéristiques géographiques ont une influence sur l'utilisation de l'orbite des satellites géostationnaires, et ce, de deux manières: elles déterminent les arcs de service utilisables pour les zones de service données et elles ont des interactions plus ou moins grandes avec les trois techniques appliquées pour la réutilisation des mêmes fréquences.

2.2.1 *Arcs de service*

L'arc de service d'une zone de service donnée dépend directement des caractéristiques géographiques (latitude, superficie et forme). Des restrictions supplémentaires peuvent être imposées par des exigences spéciales concernant l'angle de site minimum et la protection en cas d'éclipse:

A titre d'exemple, des études portant sur 12 zones de service de taille moyenne ont montré que l'arc disponible moyen (sujet aux contraintes d'angle de site spécifiées dans l'Appendice 30 du Règlement des radiocommunications et à la protection contre les éclipses jusqu'à minuit (heure locale)) est de 23° alors que, dans toute la zone, l'arc disponible moyen, pour un angle de site de 20° et des batteries fournissant toute l'énergie nécessaire, est de 112°, soit une augmentation presque quintuple de la ressource.

- *Latitude*: Pour un seul récepteur et pour un angle de site minimal admis par hypothèse, la longueur de l'arc de service est uniquement fonction de la latitude. La Fig. 1 donne la longueur de l'arc de service pour un tel point, en fonction de la latitude et pour des angles de site de 0° à 40°. Pour une région étroite en latitude, c'est-à-dire une région dont tous les points sont approximativement à la même latitude, cette longueur est diminuée de la distance (mesurée en degrés de longitude) qui sépare les points le plus à l'est et le plus à l'ouest de la région.
- *Forme et superficie*: L'arc de service d'une zone étendue, de forme irrégulière, est déterminé par la latitude et la longitude de deux points de la zone où l'angle de site passe pour la première fois en dessous de la valeur donnée, lorsque le satellite se déplace vers l'est ou l'ouest respectivement. Il est souvent difficile de déterminer ces points par l'inspection; il faut les déterminer empiriquement ou graphiquement. En général, l'arc de service est d'autant plus petit que la zone de service est plus étendue et la latitude plus élevée. En ce qui concerne la forme, une zone de service étroite et allongée a un arc de service plus petit qu'une zone de service à peu près circulaire de même étendue. Pour une zone de service proche de l'équateur, la dimension est-ouest tend à être la dimension déterminante; pour une zone de service plus proche de l'un des pôles, la dimension déterminante est la dimension est-ouest à la latitude la plus élevée.

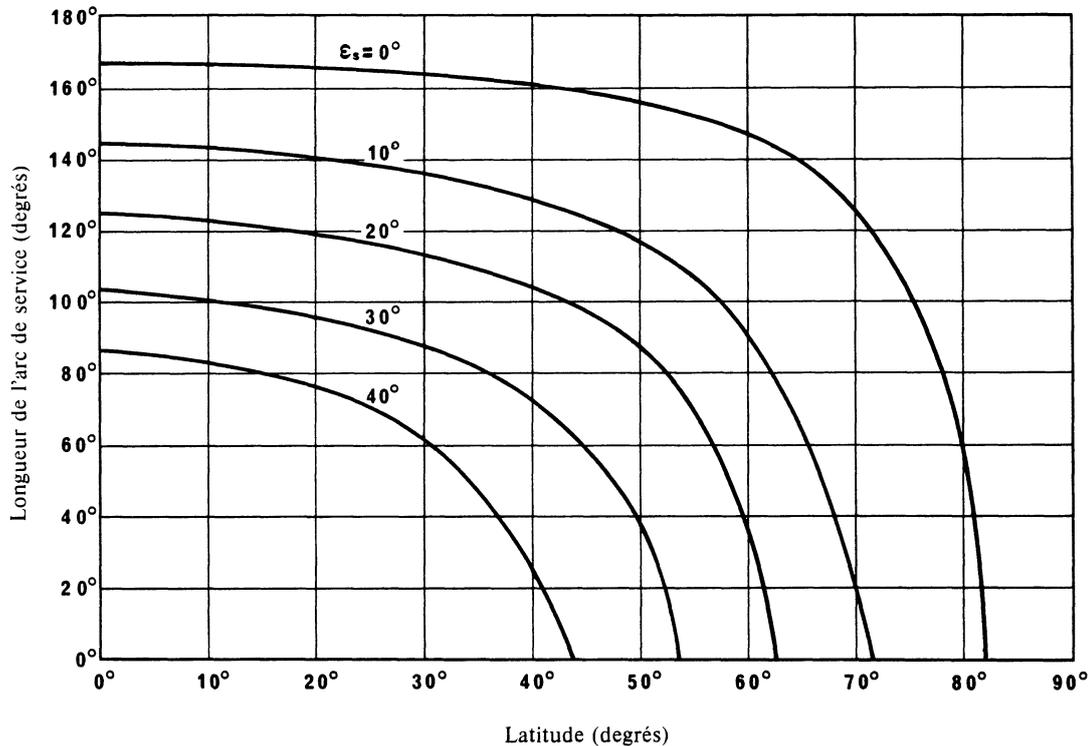


FIGURE 1 – Arc de service d'un récepteur unique

(ϵ_s : Angle de site)

2.2.2 Réutilisation des fréquences

Il existe essentiellement trois techniques qui permettent la réutilisation des fréquences: polarisation orthogonale, discrimination de l'antenne de la station terrienne et discrimination de l'antenne du satellite. Les caractéristiques géographiques ont une certaine influence sur ces trois techniques.

- *Polarisation orthogonale*: La discrimination que l'on peut obtenir entre deux faisceaux à polarisations orthogonales dépend de deux caractéristiques géographiques: le climat (qui détermine les statistiques pluviométriques) et l'emplacement, c'est-à-dire la latitude et la longitude, de la station terrienne de réception. La dépolarisation due à la pluie est un phénomène important pour les polarisations rectiligne et circulaire. La variation de l'angle de polarisation à la réception, en fonction de la latitude et de la longitude, peut avoir une importance plus ou moins grande selon les effets produits par plusieurs facteurs; cette variation existe seulement en polarisation rectiligne. Ces deux effets sont étudiés en détail dans le Rapport 814.
- *Discrimination de l'antenne de la station terrienne*: Les caractéristiques géographiques ont peu d'effet sur la discrimination de l'antenne de la station terrienne. Pour une antenne de station terrienne ayant des caractéristiques données, l'espacement des satellites doit être plus grand lorsque la zone de service est voisine du limbe de la Terre (vu du satellite) que si la zone de service se trouve au point de projection du satellite sur la surface terrestre. Etant donné que le rapport angle géocentrique/angle topocentrique entre deux satellites varie entre 1,18 et 0,99 au-dessus de la surface terrestre, le rapport entre les espacements des satellites dans ces cas extrêmes est de 1,19 à 1.

- *Discrimination de l'antenne du satellite*: La discrimination que l'on peut obtenir avec l'antenne du satellite, compte tenu des diagrammes adoptés par la CAMR-RS-77, est au plus égale au gain de l'antenne sur l'axe; pour le plus petit faisceau considéré par cette Conférence ($0,6^\circ$), ce gain est de 48,9 dB. On obtient cette valeur lorsque le récepteur est séparé de l'axe du faisceau par une distance correspondant à environ 18 ouvertures de faisceau. Toutefois, on obtient des valeurs importantes de discrimination en des points beaucoup plus rapprochés. Le diagramme adopté présente une partie plate qui donne une discrimination de 30 dB en des points séparés de l'axe du faisceau par des distances comprises entre 1,6 et 3,2 ouvertures de faisceau. D'une manière analogue, la CARR SAT-83 a adopté une dimension de faisceau minimum de $0,8^\circ$, ce qui correspond à une discrimination maximale de 46,4 dB, ce qui arrive à 16,5 ouvertures de faisceau ou $13,2^\circ$ en dehors de l'axe. Des valeurs encore plus grandes de discrimination pourraient être réalisées si on utilisait des faisceaux modelés. Le Rapport 810 donne des exemples de la qualité de fonctionnement que l'on peut obtenir avec les techniques de mise en forme des faisceaux. L'emplacement relatif des différentes zones de service, qui détermine leur séparation et, par conséquent, le niveau de discrimination réalisable avec une antenne de satellite, est le facteur géographique le plus important qui influe sur l'utilisation de la ressource spectre/orbite.

Une zone de service peut être couverte de trois façons générales:

- par un faisceau elliptique ou circulaire unique,
- par plusieurs faisceaux elliptiques ou circulaires,
- par un faisceau modelé,

(voir les Fig. 2, 3 et 4). Des méthodes d'adaptation de la surface minimale d'ellipse aux zones de service figurent dans le Rapport 812. Le cas de plusieurs faisceaux elliptiques ou circulaires sur le même canal et avec la même polarisation procure une sérieuse amélioration dans les possibilités de réutilisation des fréquences, car la séparation nécessaire entre zones de service dans lesquelles on désire réutiliser une fréquence avec la même polarisation est beaucoup plus faible lorsque les faisceaux sont plus petits. Naturellement, les séparations nécessaires pour une réutilisation des fréquences adjacentes seront elles aussi réduites.

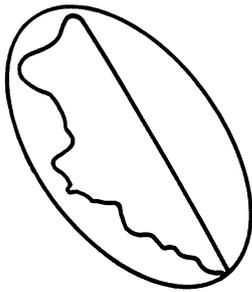


FIGURE 2 - Faisceau elliptique unique

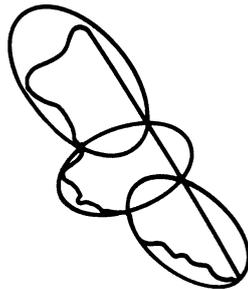


FIGURE 3 - Plusieurs faisceaux elliptiques

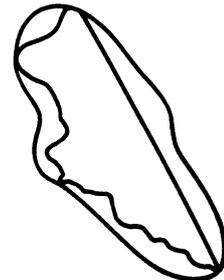


FIGURE 4 - Faisceau modelé

Dans le deuxième cas (plusieurs faisceaux elliptiques), les émissions à destination des diverses parties de la zone de service peuvent être identiques sur les mêmes fréquences, ou peuvent être sur différentes fréquences ou polarisations, ce qui ajoute encore un degré de souplesse aux services possibles. Si des fréquences différentes (ou des polarisations différentes) sont utilisées, on augmente de façon correspondante le nombre total des canaux utilisés. La capacité globale de la ressource orbite/spectre peut être accrue ou diminuée selon les dimensions des faisceaux et la séparation des zones de service auxquelles sont assignés ou attribués les mêmes canaux ou des canaux adjacents. Si les émissions sont identiques, ce cas devient équivalent à celui du faisceau modelé. En fait, on forme souvent des faisceaux modelés en combinant plusieurs faisceaux elliptiques d'amplitudes et de phases appropriées.

Il faut toutefois noter que la dimension des ellipses dans le cas de plusieurs faisceaux elliptiques, ou celle des éléments de faisceau dans le cas du faisceau modelé peuvent être limitées par des considérations analogues à celles qui ont conduit la CAMR-RS-77 à adopter une dimension d'ellipse minimale, par exemple, par les dimensions des antennes des engins spatiaux.

2.3 *Radiodiffusion par satellite pour réception communautaire*

Un des principes de planification adoptés par la CAMR-RS-77 et par la CAMR-79 (Résolution N° 701) est que toute planification soit faite en vue de la réception individuelle. Ce principe pourrait conduire à une utilisation inefficace du spectre-orbite dans la Région 2, dans les cas où l'on a besoin en permanence d'un service de radiodiffusion par satellite avec réception communautaire, c'est-à-dire dans les cas où il n'est pas question de passer ultérieurement à la réception individuelle. Dans certains cas, il sera peut-être possible de mettre en œuvre, sur un arc d'orbite donné, un plus grand nombre de satellites pour la réception communautaire que pour la réception individuelle, étant donné que les antennes de réception d'un système «communautaire» ont une discrimination plus élevée. Toutefois, cet avantage risque d'être limité en raison des différences entre les p.i.r.e. des différents systèmes (voir le § 2.1.5). La mesure dans laquelle cette mise en œuvre est possible dépend des caractéristiques techniques des systèmes en cause et de la séparation géographique des diverses zones de service à considérer. On pourrait avoir une meilleure efficacité d'utilisation du spectre-orbite si l'on prenait en considération cette possibilité dès le stade de la planification. Il faudra étudier plus avant ce mode d'utilisation de la bande des 12 GHz en Région 2.

2.4 *Répercussion sur la planification des satellites multiservices (hybrides) et des satellites à faisceaux multiples*

Dans certains cas, une administration peut réaliser d'importantes économies de coût en partageant un satellite unique (hybride) entre deux services ou plus tels que SRS, SFS et SMS. De même, deux administrations ou plus peuvent réaliser des économies en utilisant en partage un satellite unique ayant des faisceaux multiples fixes (voir le Rapport 810) ou des faisceaux orientables avec partage dans le temps; dans ces cas, le satellite utilisé en partage peut également assurer deux services ou plus, si besoin est. Ces économies seront probablement les plus importantes lorsque les besoins des administrations pour certains services ne se sont pas encore développés au point de nécessiter l'exploitation d'un satellite spécialisé.

Les satellites à services multiples pourraient utiliser des répéteurs spécialisés de deux types ou plus, chaque type étant conçu pour un service distinct, ou pourraient aussi utiliser des répéteurs capables d'assurer chacun plusieurs services.

Certaines études [Edelson et Morgan, 1977; Fordyce et Stamminger, 1979] ont indiqué que ces systèmes à services ou à faisceaux multiples peuvent présenter un intérêt économique notable, compte tenu des possibilités croissantes de lancement de grandes plates-formes spatiales; à signaler cependant qu'il est possible d'utiliser d'une manière efficace des stations spatiales plus classiques pour assurer ces services, lorsque la puissance totale nécessaire est modeste.

La puissance totale nécessaire n'est pas la même selon que les administrations concernées désirent mettre en œuvre, à tel ou tel moment, la totalité des canaux disponibles et/ou la puissance totale des répéteurs autorisés par un plan ou par un autre règlement limitatif. On peut concevoir par exemple un plan de service intérimaire dans lequel moins de la capacité et/ou de la puissance totale serait utilisée au libre choix des administrations concernées, pendant une certaine période (par exemple la durée de vie du satellite), jusqu'à ce que le service soit mis en œuvre dans tous ces aspects à une date ultérieure. Plusieurs administrations, auxquelles sont allouées des positions orbitales différentes en fonction de leurs besoins à long terme, pourraient souhaiter mettre en place un service intérimaire ou expérimental en partageant la même station spatiale et en utilisant un ou plusieurs canaux alloués à chaque administration.

Le Rapport 665 indique que l'on peut orienter les faisceaux d'antenne des stations spatiales ou les diriger en utilisant des réseaux. Les antennes orientées mécaniquement et desservant de vastes zones ont fait l'objet d'essais sur les satellites ATS-6 et CTS. Ainsi, il est possible de *partager dans le temps* une capacité donnée de satellite, y compris les répéteurs individuels, entre deux ou trois administrations.

Lorsque deux ou plusieurs administrations partagent le même canal dans le temps, elles seront amenées à utiliser les mêmes fréquences, qui peuvent être différentes des fréquences allouées à chacune d'entre elles dans un plan. Pour une station spatiale unique, des bandes ou des portions de bandes de fréquences séparées seraient nécessaires pour la liaison de connexion correspondant à chaque service assuré par une liaison descendante. Lorsque plusieurs administrations sont desservies, des fréquences spécifiques différentes peuvent être nécessaires pour chaque administration ou chaque zone de service. Cela dépend de facteurs tels que la discrimination d'antenne, l'ouverture du faisceau, l'espacement entre les zones de service, les brouillages, etc. Ainsi, les considérations relatives aux liaisons de connexion, pour un satellite à faisceaux multiples ou à services multiples, mettent en évidence d'importantes limitations.

D'une manière générale, les plans qui attribuent des positions orbitales et des fréquences spécifiques à un seul service seront incompatibles avec des plans similaires pour un autre service. Compte tenu de la disparité des besoins et des caractéristiques techniques dans les différents services, les attributions de positions orbitales ne seront généralement pas les mêmes pour les différents services dans la même administration ou dans la même zone de service. Ainsi, à moins d'établir ces plans avec une grande souplesse ou de les coordonner soigneusement les uns avec les autres, il ne sera pas possible de mettre en œuvre des satellites à services multiples et d'exploiter les avantages économiques qu'ils offrent [CCIR, 1978-82a].

Les difficultés que présentent des plans spécifiques en ce qui concerne l'utilisation en partage des stations spatiales par des services différents ou des administrations différentes, avec l'intérêt potentiel, technique et économique que présente cette utilisation, devraient être prises en considération lors de la planification du SRS dans la Région 2. Une certaine souplesse dans la mise en œuvre du plan ou dans la mise en service des systèmes influencés par le plan (selon un des principes définis pour la planification dans la Région 2 par l'Annexe 6 aux Actes finals de la CAMR-RS-77) permettrait de surmonter certaines de ces difficultés.

Des méthodes précises permettant, lors de la planification, de prendre en compte des stations spatiales à services ou à faisceaux multiples doivent encore être élaborées et étudiées.

Une étude sur les satellites à services multiples (hybrides) se trouve également dans le Rapport 453, § 7.3.

3. Eléments clés

Les éléments clés de la planification du service de radiodiffusion par satellite sont les descriptions ou les spécifications:

- des besoins du service de radiodiffusion par satellite à satisfaire,
- de la gamme des caractéristiques techniques et des critères de brouillage,
- de l'agencement du plan et des allotissements qui en résultent,
- enfin des méthodes selon lesquelles il conviendra de modifier le plan pour l'adapter aux changements des besoins et de la technologie.

Chacun de ces éléments clés sera examiné tour à tour.

3.1 *Besoins du service*

Ces besoins sont déterminés et/ou coordonnés par des administrations individuelles ou par des groupes d'administrations, de manière à refléter les besoins nationaux ou régionaux en matière de satellites de radiodiffusion. Leur spécification peut aller d'un énoncé de la largeur de bande totale, de l'emplacement préféré sur l'orbite et de la zone de service associée, jusqu'à la description complète des types et du nombre des canaux de radiodiffusion avec leur zone de service.

Les besoins du service sont étroitement associés à l'élément «temps» imposé par la démarche propre à la planification. Il convient de relever que les prévisions les plus hypothétiques sont celles faites à la plus longue échéance, alors que les plus précises sont celles relatives au court terme.

3.1.1 *Exemples de facteurs se rapportant au service nécessaire*

- nombre de canaux de télévision nécessaire pour chaque zone de service;
- nombre de zones de service dans chaque pays;
- forme, dimensions et emplacement de chaque zone de service, exprimés par les coordonnées géographiques des sommets d'un polygone qui schématise assez fidèlement la zone considérée ou éventuellement les caractéristiques détaillées du faisceau d'antenne prévu si on les connaît; coordonnées géographiques de plusieurs points situés dans chaque zone de service, constituant un échantillonnage suffisamment représentatif pour permettre le calcul des marges de protection;
- qualité de service, y compris la valeur nécessaire du rapport porteuse/bruit et du rapport signal/bruit, pour des pourcentages donnés de temps;
- emplacement désiré du satellite sur l'orbite géostationnaire avec, le cas échéant, l'indication d'une préférence pour partager ou non une même position orbitale pour couvrir plusieurs zones de service;
- le type de service demandé dans chaque zone de service, par exemple en réception individuelle ou en réception communautaire, et éventuellement dans ce dernier cas le nombre d'installations de réception;
- éventuellement, les emplacements, la dimension des antennes et la p.i.r.e. de toutes les stations d'émission des liaisons de connexion dans chaque zone de service;
- éventuellement, les fréquences des liaisons de connexion;
- le principe des satellites en réserve;
- la croissance et l'évolution prévues du service.

3.2 *Caractéristiques techniques et critères de brouillage*

Selon le type d'application et le stade de développement atteint, les caractéristiques techniques et les critères de brouillage entre systèmes peuvent varier d'un système à l'autre et sont susceptibles d'évoluer dans le temps. Par exemple, en utilisant une méthode de planification, chaque administration pourrait construire et développer son système de radiodiffusion par satellite en fonction de ses besoins croissants et selon ses propres critères, par exemple le moindre prix. Avec cette méthode de planification, les caractéristiques techniques et les critères de brouillage entre systèmes varieraient dans le temps en fonction de l'évolution des besoins du service, de la technologie et des coûts.

Dans une autre manière d'aborder la planification, on spécifierait entièrement les caractéristiques et les critères pour tous les systèmes, avec peut-être des procédures de modification appropriées.

3.2.1 Exemples de facteurs se rapportant principalement aux normes techniques

- espacement des fréquences porteuses des canaux adjacents;
- espacement préféré des fréquences porteuses des canaux attribués à la même zone de service;
- rapports de protection globaux pour tous les systèmes de radiodiffusion compris dans le plan (même canal et canal adjacent), comprenant la liaison de connexion et la liaison descendante;
- caractéristiques des récepteurs, y compris le facteur de qualité (G/T);
- diagrammes de rayonnement (copolaires et contrapolaires) de l'antenne d'émission du satellite et des antennes de réception au sol;
- marge de tolérance pour le pointage des antennes d'émission et de réception;
- précision du maintien en position;
- données relatives à la propagation, y compris les marges à prévoir pour l'affaiblissement par la pluie, l'affaiblissement par atmosphère claire et la dépolarisation provoquée par la pluie;
- limites de l'arc d'orbite utile pour chaque zone, déterminées en fonction de la durée de l'éclipse du satellite et de l'angle de site minimal;
- puissance surfacique minimale requise à l'intérieur de la zone de service pour le type de service souhaité, par exemple en réception individuelle ou en réception communautaire.

3.3 Structures et allotissements

Les allotissements pourraient se faire sous diverses formes et pour des durées diverses, quelle que soit la période correspondant aux besoins du service.

Selon une méthode particulière de planification, les assignations sont inscrites dans le fichier de référence à l'issue d'une coordination menée à bonne fin avec d'autres systèmes. Les assignations de fréquence et d'emplacement sur l'orbite ainsi inscrites dans le fichier constituent la base possible d'un plan.

Une autre façon d'agir consisterait à allotir à chaque administration ou groupe d'administrations des segments de bande et des positions sur l'orbite pour une durée déterminée.

3.3.1 Exemples de caractéristiques à fixer par un plan

L'objet d'un plan pour le service de radiodiffusion par satellite est de spécifier, pour chacune des émissions, les caractéristiques suivantes:

- la forme, les dimensions et l'orientation dans l'espace du faisceau d'antenne pour couvrir la zone de service;
- la puissance d'émission (ou la p.i.r.e.);
- la fréquence (ou le canal);
- la position du satellite sur l'orbite géostationnaire;
- la polarisation.

Pour représenter dans un plan les assignations de canaux, de positions sur l'orbite et de polarisations, il est commode d'utiliser un tableau à double entrée où chaque ligne correspond à un canal et chaque colonne à une position; les noms des diverses zones de service sont alors reportés dans les cases appropriées de même qu'un indice qui repère la polarisation. Le Tableau I illustre la méthode de présentation d'un plan.

TABLEAU I – Exemple de représentation des assignations dans un plan avec C canaux ($1, \dots, C$), S positions d'orbite (aux longitudes $\lambda_1, \dots, \lambda_S$) et deux polarisations (1, 2). Les zones de service sont désignées par A, B, C, \dots, N

Canal \ Longitude	λ_1	λ_2	...	λ_S
1	A(1)	B(2)	...	G(2)
2	D(2)	E(1)	...	H(1)
...
C	K(1)	L(2)	...	N(2)

3.4 Modifications

L'élément final le plus important des diverses méthodes de planification est la possibilité pour ces méthodes de se prêter aux modifications des besoins du service, des caractéristiques techniques, des critères, de la technologie et éventuellement aux variations qui en résultent pour les allotissements. L'aisance et la mesure avec lesquelles on peut aménager des besoins changeants de planification au sein d'un plan dépendent de la méthode adoptée, ainsi que de la portion de la capacité totale de la ressource orbite/spectre non encore allouée dans le plan. La capacité est fonction des caractéristiques techniques des systèmes prévus dans le plan et des positions des satellites sur l'orbite géostationnaire.

4. Méthodes de planification

On trouvera ci-après la description de quelques méthodes possibles de planification. Toutes ces méthodes ne s'appliquent pas forcément à toutes les bandes de fréquences attribuées à la radiodiffusion par satellite.

4.1 Plan d'allotissements détaillé des positions orbitales et des canaux

Dans un tel plan, on fixe des valeurs spécifiques pour les emplacements sur orbite des satellites, les fréquences et les zones de service de chaque administration, de même qu'une p.i.r.e. et un sens de polarisation spécifiques pour les satellites. L'espacement orbital et les séparations des zones de service pour un fonctionnement dans le même canal et dans le canal adjacent sont fondés dans le plan, sur des valeurs spécifiques admises pour un certain nombre de caractéristiques de système supplémentaires, notamment les suivantes:

- objectifs relatifs au bruit et à la puissance surfacique,
- facteur de qualité des récepteurs,
- tolérances de maintien en position,
- objectifs relatifs au brouillage,
- caractéristiques des antennes,
- méthode de modulation et largeur de bande nécessaire,
- protection au moment des éclipses et spécifications minimales des angles de site.

Il est commode de faire une distinction entre trois types de plans d'allotissements détaillés:

Type 1: Plan à long terme (15-20 ans)

Il s'agit d'un plan détaillé, établi à long terme, portant sur les fréquences et les positions orbitales, dont les critères techniques, les fréquences et les positions orbitales sont fixes, les modifications n'intervenant qu'exceptionnellement dans la mesure où elles n'impliquent ni brouillage, ni protection supplémentaires. Au bout du délai spécifié, le plan serait passé en revue lors d'une conférence administrative des radiocommunications compétente.

Type 2: Plan à moyen terme (7-15 ans)

Il s'agit d'un plan détaillé portant sur les fréquences et les positions orbitales, dont les attributions de positions orbitales et de canaux à chaque administration vont de pair avec une procédure de modification permettant une souplesse aussi grande que possible qui ne porte pas atteinte à l'intégrité du plan. Au cours de la mise en œuvre du plan, un accord peut intervenir entre les administrations concernées pour modifier les conditions et les critères d'application. Une conférence administrative mondiale ou régionale des radiocommunications serait tenue à la fin de la période couverte par le plan en vue d'une modernisation qui tiendrait compte de l'évolution de la technique et des besoins.

Type 3: Plan à court terme (3-6 ans)

Il s'agit d'un plan dont les positions orbitales et les canaux sont attribués à chaque pays pour une période allant de trois à six ans. Des conférences seraient tenues avant l'échéance du plan (par exemple tous les cinq ans) pour tenir compte de nouveaux besoins et pour modifier le plan en fonction de l'évolution de la technique. Il va de soi que l'intégrité de tous les systèmes notifiés ou exploités conformément au plan en vigueur serait respectée.

Tous les plans doivent normalement inclure des positions orbitales et un nombre minimal de canaux pour toutes les administrations concernées par le plan de telle sorte que chacune d'elles puisse, dans un cadre défini, élaborer son système ou ses principes propres.

4.2 Plan d'allotissements détaillé de positions orbitales et de blocs de fréquences

Dans cette méthode de planification, on assigne aux administrations des parties du spectre à certaines positions orbitales. Ces parties du spectre seraient associées à certaines zones de service, mais il ne serait pas alloué de fréquences ni de polarisations spécifiques. La largeur de bande des canaux serait déterminée par la ou les administrations intéressées. En effet, ce schéma laisse aux administrations intéressées la possibilité de choisir avec souplesse les types de planification microscopiques les mieux adaptés à leurs exigences et à leurs besoins. Les administrations seraient libres de modifier leurs plans de fréquences, leurs polarisations et leurs largeurs de bande pour tenir compte de l'évolution de leurs besoins ou d'accroître la capacité des blocs de fréquences qui leur sont alloués, dans la mesure où les progrès de la technologie le permettent. En choisissant avec soin leurs zones de service et leurs positions orbitales, les administrations seraient en mesure d'utiliser en partage un satellite avec

d'autres administrations durant la phase initiale de développement de leurs besoins, tout en conservant la possibilité de modifier avec souplesse leur utilisation du bloc de fréquences lorsque leurs besoins augmentent. Les attributions spécifiques de canaux et de polarisations seraient effectuées au moment où une administration serait prête à mettre en œuvre un système pour une zone de service déterminée. Le meilleur moyen de mettre en application un tel système est de fixer les emplacements sur orbite de manière à obtenir l'isolement nécessaire entre les zones de service intéressées.

4.3 *Plan détaillé d'assignations de fréquences et d'allotissements d'arcs orbitaux*

Dans cette méthode, diverses administrations se verraient attribuer un certain nombre de canaux spécifiques par zone de service, mais il n'y aurait pas d'emplacements spécifiques sur orbite associés à ces canaux. Cependant, les administrations se verraient aussi attribuer certains arcs de l'orbite géostationnaire spécifiés qui pourraient être utilisés pour desservir les zones de service intéressées. Des attributions spécifiques de positions orbitales à une zone de service seraient faites au moment où l'administration serait prête à mettre en œuvre un système pour cette zone de service.

Cette approche de la planification pourrait autoriser une souplesse dans certains aspects de la conception des systèmes. Cependant, pour accorder un certain nombre de canaux par zone de service, quelques contraintes techniques de planification doivent être admises, y compris la largeur de bande des canaux.

4.4 *Accès garanti par coordination multilatérale*

On n'établirait pas ici un plan formel, mais des procédures garantissant l'«accès» au spectre-orbite au fur et à mesure de l'apparition des besoins. Normalement, cet accès serait coordonné par application des procédures prévues dans la méthode décrite au § 4.5. Au cas où ces procédures ne permettraient pas de satisfaire un besoin nouveau, on convoquerait une réunion spéciale des administrations dont les services pourraient être influencés, et on rechercherait le moyen de satisfaire le besoin nouveau; cette recherche porterait également sur les ajustements à apporter aux systèmes existants pour permettre l'introduction de nouveaux systèmes.

4.5 *Procédures de coordination et facteurs techniques révisables périodiquement*

Cette méthode de planification consiste à réviser périodiquement les procédures réglementaires, les règlements et les Recommandations en vigueur du CCIR, et à élaborer des procédures nouvelles, de nouveaux règlements et de nouvelles Recommandations (les plus simples possible), pour une utilisation plus efficace de la ressource orbite-spectre.

5. **Procédures pour la planification a priori détaillée**

La planification du service de radiodiffusion par satellite dépend de deux facteurs techniques principaux: le bruit et le brouillage. Etant donné que, dans la plupart des cas, ces deux facteurs ont un effet sur différents éléments du système, ils peuvent être pris en considération séparément pour l'élaboration de la procédure de planification. Cela permet de diviser le problème de synthèse en deux phases.

La première phase consiste en l'optimisation des caractéristiques du système technique de base pour satisfaire aux critères de qualité pour le bruit thermique. Elle permet de minimiser la puissance d'émission du satellite, pour un facteur de qualité donné des stations terminales de réception et des critères de qualité précis de protection contre le bruit thermique, c'est-à-dire un rapport C/N minimal à satisfaire en tout point d'une zone de service donnée pendant un pourcentage du temps donné. Les caractéristiques du faisceau décrites au § 7.1 peuvent être optimisées en fonction de ces contraintes. Pour ce faire, les limites de la zone de service sont approchées manuellement par un polygone défini par les coordonnées de ses sommets.

Il est nécessaire, dans le processus de planification, d'optimiser un faisceau pour chacune des assignations possibles d'emplacements orbitaux pour le satellite desservant chacune des zones de service de manière que, pendant la phase d'assignation, les caractéristiques du faisceau soient disponibles à partir de la liste et que l'on puisse calculer les brouillages entre les différents systèmes en cause. Si la deuxième fonction du processus consiste à choisir des faisceaux dans cette liste en fonction de l'assignation des positions orbitales de chaque satellite, tous les systèmes du plan définitif seront ainsi protégés contre le bruit thermique.

La seconde phase de la synthèse consistera à assigner les positions orbitales, les polarisations et les fréquences des canaux pour satisfaire aux critères de brouillage.

On trouvera dans cette section la description d'une procédure qu'on peut appliquer pour la planification *a priori* détaillée. Cette procédure est applicable dans le cas où les largeurs de canaux sont compatibles d'un système à un autre. Un complément d'étude est nécessaire pour assouplir cette contrainte.

5.1 *Planification avec répartition régulière des canaux*

Lorsqu'on envisage de construire d'emblée un plan complet, il peut être utile de scinder le problème en deux étapes. Dans un premier temps, on construit un plan qui, à l'aide d'un nombre limité C_1 de canaux, permet de diffuser un programme de télévision (ou son équivalent) vers chaque zone de service. Dans un second temps, on transforme ce «plan à un programme par zone de service» en un plan plus général qui assigne le nombre voulu de canaux à chaque zone de service en respectant la condition d'avoir la même position d'orbite et la même polarisation pour tous les canaux d'une même zone. Une étude [CCIR, 1974-78a] décrit une méthode permettant de construire ce plan général, à l'aide de distributions régulières de canaux. Cette méthode est directement utilisable lorsqu'on veut assigner le même nombre total de canaux à chaque zone de service, mais peut aussi être modifiée et adaptée si cela n'est pas le cas (voir le § 5.4).

5.2 Définition d'une distribution régulière

Une distribution régulière est caractérisée par:

d : différence entre numéros des canaux consécutifs d'une zone;

t : nombre de canaux assignés à chaque zone (un canal permettant l'émission d'un programme de télévision ou de plusieurs programmes de radiodiffusion sonore);

C_1 : nombre de canaux pour un programme par zone.

Le nombre total de canaux, C , est donné par:

$$C = tC_1 \quad (1)$$

Cette équation montre aussi que C_1 représente le nombre maximal de zones de service pouvant être desservies à partir d'une seule position de satellite, sans qu'il soit nécessaire de recourir à la réutilisation des fréquences.

L'espacement des fréquences porteuses, Δ , est donné par:

$$\Delta = \frac{W - gb - b}{(C - 1)} \quad (2)$$

où:

W : largeur de bande totale y compris les deux bandes de garde

gb : largeur de bande totale occupée par les deux bandes de garde aux deux extrémités de la bande de fréquences attribuée

b : largeur nécessaire des canaux.

Ces variables sont représentées par la Fig. 5.

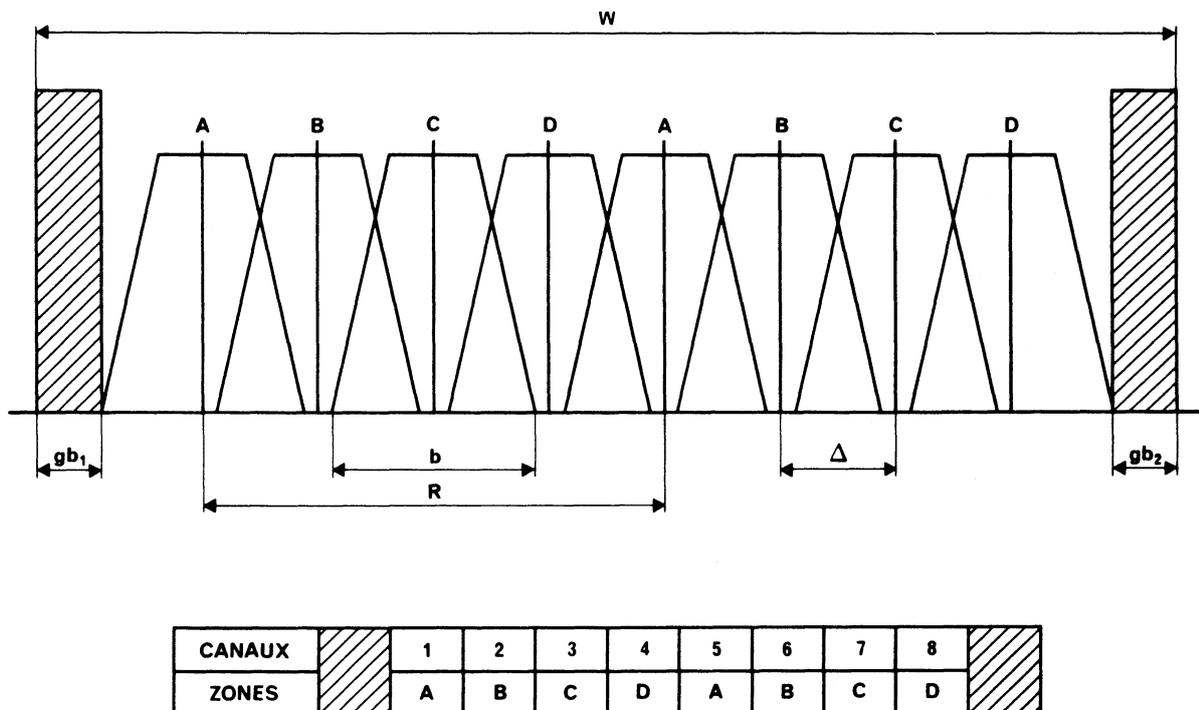


FIGURE 5 - Exemple d'une distribution régulière des canaux

$$C = 8$$

$$C_1 = 4$$

$$t = 2$$

$$d = 4$$

$$gb = gb_1 + gb_2$$

$$W = gb + b + (C - 1) \Delta$$

5.3 Contraintes imposées aux distributions

Les principales contraintes imposées aux distributions régulières sont les suivantes:

- d doit être supérieur à 1, pour éviter d'assigner à une même zone des canaux adjacents qu'il serait difficile de multiplexer sur une même antenne d'émission; d doit également être petit pour ne pas trop augmenter la gamme d'accord des récepteurs qui doivent capter tous les programmes destinés à une zone de service.

Soit R l'intervalle dans lequel on peut régler la fréquence centrale d'accord des récepteurs; la condition suivante devra être satisfaite:

$$d \leq \frac{R}{(t-1)\Delta} \quad (3)$$

- En général, on choisit le nombre t de canaux par zone de service aussi élevé que possible, compte tenu du spectre disponible.
- Le nombre C_1 de canaux pour un programme par zone doit être un multiple de d ; il est de plus compris entre un minimum (qui correspond au cas où le brouillage entre canaux adjacents est négligeable, ce qui nécessite un grand écartement des canaux) et un maximum qui est fixé à la fois:
 - par la nécessité d'avoir un nombre suffisant de positions d'orbite pour tirer parti de la discrimination apportée par l'antenne de réception vis-à-vis des brouillages;
 - et par la nécessité de ne pas diminuer l'écartement des canaux à un point tel que l'augmentation du rapport de protection dans le canal adjacent rende la planification impossible.

Pour les valeurs de C_1 comprises entre le minimum et le maximum, l'écartement des canaux est en général inférieur à la largeur de bande des émissions et les assignations doivent donc être faites de manière à protéger à la fois le même canal et les canaux adjacents, dans la mesure indiquée par les rapports de protection correspondants. La valeur optimale de C_1 est obtenue lorsque les brouillages dans le même canal et dans les canaux adjacents sont d'importance à peu près égale. Selon des études préliminaires portant sur une quarantaine de zones de service dans la Zone européenne de radiodiffusion, l'optimum de C_1 serait égal à 8.

- Pour tirer bénéfice de l'emploi de polarisations orthogonales, il est très utile d'alterner les polarisations d'un canal à l'autre pour une même position donnée sur l'orbite, de même que d'une position à la suivante pour un même canal. Cela facilite l'assignation de canaux adjacents à des zones adjacentes, à partir de la même position, ainsi que l'assignation du même canal à des zones géographiquement peu distantes, à partir de positions sur orbite voisines. Mais dans ce cas, pour que tous les canaux d'une même zone aient la même polarisation, l'écart d entre canaux consécutifs d'une zone doit être un nombre pair. Or, comme le nombre C_1 de canaux par programme et par zone est nécessairement multiple de d , il faut que C_1 soit aussi un nombre pair.
- Il pourrait être utile d'introduire des bandes de garde, d'une part, aux extrémités de la bande allouée à la radiodiffusion par satellite (afin de réduire les brouillages dans la bande adjacente) (voir le Rapport 809) et, d'autre part, entre des groupes de canaux à l'intérieur de la bande (afin de diminuer le nombre de cas de brouillages par canal adjacent); ces dernières bandes de garde devraient être éliminées si l'on souhaite normaliser l'écartement des canaux dans plus d'une région.

Les Actes finals de la CAMR-RS-77 (voir le § 3.5.3 de l'Annexe 5 à l'Appendice 30 (ORB-85) au Règlement des radiocommunications) spécifient que l'espacement entre les fréquences assignées de deux canaux utilisés avec la même antenne de satellite doit être supérieur à 40 MHz pour les Régions 1 et 3 (voir aussi le Rapport 811). Cependant, l'espacement entre les fréquences assignées de deux canaux destinés à desservir la même zone de service peut être inférieur à 40 MHz (de sorte que la valeur du produit $d\Delta$ peut être inférieure à 40 MHz) lorsque cette zone est desservie par plusieurs satellites groupés en une même position sur l'orbite ou par un gros satellite doté de plusieurs antennes. Il faudra des études complémentaires pour pouvoir évaluer le compromis entre la complexité et le coût de ces arrangements et les possibilités plus grandes qui résultent du relâchement de la limite de 40 MHz. L'espacement sera alors limité par les caractéristiques du récepteur.

L'ensemble des contraintes précédentes a pour effet de limiter fortement le nombre de distributions régulières de canaux pratiquement intéressantes pour la planification.

La Fig. 6 donne des exemples de l'attribution des canaux à une position donnée sur l'orbite. Dans le premier cas, les valeurs choisies sont $d = 4$, $t = 5$ et $C_1 = 8$ pour une bande totale de 800 MHz. Dans le second cas, ces valeurs sont $d = 6$, $t = 5$ et $C_1 = 6$ pour une bande totale de 500 MHz. Selon l'ordre des canaux, les zones de service se succèdent alors selon la séquence A, B, C, D ou A, B, C, D, E, F.

5.4 Distributions non régulières

Lorsqu'il y a lieu d'assigner un nombre de canaux différent suivant les zones, les considérations précédentes sont encore applicables à condition de construire une distribution régulière dans laquelle t est pris égal au plus grand commun diviseur des nombres de canaux des diverses zones; le cas limite est celui où t devient égal à l'unité. Il faut en outre faire intervenir chaque zone autant de fois qu'on lui assigne de tranches de t canaux. Dans certains cas particuliers, une autre méthode consisterait à distribuer une tranche de t canaux entre plusieurs zones de service. L'inconvénient de ces distributions non régulières est d'accroître la difficulté du problème des brouillages dans les canaux adjacents. Toutefois, une telle situation pourrait être inévitable en pratique.

CANAL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
ZONES	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	E	F	G	H	E	F	G	H	E	F	G	H	E	F	G	H	E	F	G	H

CANAL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ZONES	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F

FIGURE 6 – Exemples de distributions régulières de canaux occupant une bande totale de 800 et 500 MHz. Dans ces deux exemples, le nombre des canaux, t , alloués à chaque zone de service est égal à 5. Dans le premier exemple, C_1 , nombre de canaux pour un seul programme par zone de service, est égal à 8 et la différence, d , entre les nombres de canaux alloués à la même zone de service est égale à 4. Les nombres correspondants dans le deuxième exemple sont 6 et 6. La bande de 800 MHz est alors divisée en 40 canaux dont les porteuses ont un écartement de 19,18 MHz, et la bande de 500 MHz est divisée en 30 canaux dont l'écartement nominal est 16,7 MHz. Les assignations des canaux aux zones de service A, B, C, D, ... peuvent être répétées (dans d'autres zones de service) pour d'autres positions sur l'orbite

5.5 Normalisation de la position et de l'écartement des porteuses

La normalisation de l'écartement des canaux et de la position de chaque canal dans la bande allouée peut être souhaitable pour utiliser plus efficacement le spectre et l'orbite et simplifier les calculs de brouillages. La valeur exacte de l'écartement des canaux et la position précise de ces canaux pourraient être déterminées en tenant compte des caractéristiques techniques appropriées. Des distributions régulières détaillées de canaux pourraient alors être établies.

6. Calcul du brouillage total

Lorsqu'on évalue la puissance produite en un point donné par un seul satellite (liaison descendante) ou en une position de satellite donnée par un émetteur de station terrienne (liaison de connexion), on peut recourir à la notion de gain équivalent pour chaque liaison partielle.

Dans chaque liaison partielle, il y a deux antennes, qui ont l'une et l'autre des caractéristiques d'émission et de réception copolaires et contrapolaires. En outre, les effets de propagation atmosphérique, représentés principalement par l'affaiblissement copolaire et par la discrimination contrapolaire, influent sur le niveau net du signal.

Le gain équivalent (en tant que rapport de puissance) d'une liaison partielle peut être représenté par l'approximation suivante:

$$\begin{aligned}
 G &= G_1 \cdot \cos^2 \beta + G_2 \cdot \sin^2 \beta & (4) \\
 G_1 &= G_{ip} \cdot G_{rp} \cdot A + G_{ic} \cdot G_{rc} \cdot A + G_{ip} \cdot G_{rc} \cdot A \cdot X + G_{ic} \cdot G_{rp} \cdot A \cdot X \\
 G_2 &= (\sqrt{G_{ip} \cdot G_{rc} \cdot A} + \sqrt{G_{ic} \cdot G_{rp} \cdot A})^2 + G_{ip} \cdot G_{rp} \cdot A \cdot X + G_{ic} \cdot G_{rc} \cdot A \cdot X
 \end{aligned}$$

où:

β : pour la polarisation linéaire, est l'angle d'alignement relatif entre le plan de polarisation du signal reçu et le plan de polarisation de l'antenne de réception. Pour la polarisation circulaire, on suppose que $\beta = 0^\circ$ correspond à l'émission et à la réception copolaires et $\beta = 90^\circ$, à l'émission et à la réception contrapolaires

G : gain (rapport de puissance > 1)

A : affaiblissement copolaire sur la liaison partielle brouilleuse (en tant que rapport de puissance ≤ 1)

X : discrimination contrapolaire sur la liaison partielle brouilleuse (en tant que rapport de puissance $\ll 1$)

$$X = 10^{-0,1[30 \log f - 40 \log(\cos \varepsilon_s) - 20 \log(-10 \log A)]}$$

pour $5^\circ \leq \varepsilon_s \leq 60^\circ$

où:

f : étant la fréquence en GHz et ε_s , l'angle de site du satellite, vu depuis la station terrienne (degrés).

Pour $\varepsilon_s > 60^\circ$, prendre $\varepsilon_s = 60^\circ$ pour calculer la valeur de X .



Si on applique la notion de gain équivalent, la puissance de la porteuse utile (en dBW) ou la puissance brouilleuse d'une seule source de brouillage sur chaque liaison partielle, est donnée simplement par:

$$P_R = P_T - L_{FS} - L_{CA} + 10 \log G \quad \text{dBW} \quad (5)$$

où:

- P_R : puissance reçue (dBW)
- P_T : puissance émise par l'antenne d'émission (dBW)
- L_{FS} : affaiblissement par étalement «en espace libre» (dB)
- L_{CA} : absorption par atmosphère claire (dB).

Dans l'expression de G_1 , on part de l'hypothèse de l'addition en puissance des deux termes. A proximité de l'axe principal de l'émission utile, l'addition en tension des deux premiers termes est peut-être plus indiquée en raison de l'alignement de phase, mais hors de cet axe, les effets aléatoires justifient une addition en puissance. Toutefois, puisque le second terme est insignifiant à proximité de cet axe, l'hypothèse de l'addition en puissance ne compromet pas l'approximation. La dépolarisation atmosphérique est un effet aléatoire, ce qui explique que les deux derniers termes sont additionnés en puissance.

Dans l'expression de G_2 , on part de l'hypothèse de l'addition en tension des deux premiers termes, puisqu'à proximité de l'axe n'importe quel terme peut être le plus important et l'alignement de phase de ces termes justifierait l'addition en tension. En dehors de cet axe principal, les 3^e et 4^e termes deviennent les plus importants, de sorte que si la somme des puissances des deux premiers termes est justifiée dans cette région, comme c'est le cas pour G_1 , la validité du modèle considéré n'est pas exagérément compromise lorsqu'on applique l'addition en tension dans toutes les régions. Etant donné que le passage de l'addition en tension à proximité de l'axe à l'addition en puissance en dehors de l'axe est mal défini, les expressions susmentionnées sembleraient offrir, à la lumière des arguments avancés, un compromis raisonnable entre la précision et la simplicité.

Si le rapport puissance porteuse utile/puissance du signal brouilleur – lorsque les deux puissances sont calculées à l'aide de la formule (5) ci-dessus – doit être évalué pour le cas le plus défavorable, il est nécessaire de tenir compte des paramètres tels que les tolérances sur le maintien en position du satellite, les erreurs de pointage de l'antenne du satellite et les conditions de propagation.

L'expression donnée ci-dessus pour G_2 peut servir à étudier la sensibilité globale de discrimination aux composantes contrapolaires des antennes d'émission et de réception au voisinage de l'axe. Par exemple, si on prend comme référence les diagrammes d'antenne de la CAMR-RS-77 et si on réduit le diagramme contrapolaire du satellite de 7 dB, pour le ramener à -33 dB, on obtient une diminution de 0,5 dB de la discrimination nette; en revanche, si on réduit de 5 dB le diagramme contrapolaire de l'antenne de réception pour le ramener à -20 dB, la diminution de la discrimination effective est de 3 dB.

Les formules (4) et (5) s'appliquent telles quelles à la polarisation circulaire; elles sont également valables en polarisation rectiligne pourvu que la direction de polarisation des émissions utile et brouilleuse soit identique ou orthogonale (si l'angle entre ces deux directions a une autre valeur, des composantes supplémentaires de brouillage apparaissent).

La puissance globale de brouillage est obtenue en ajoutant les puissances ainsi calculées pour toutes les sources de brouillage. Le rapport de la puissance du signal utile/puissance globale de brouillage est le rapport porteuse/brouillage global (C/I) sur la liaison descendante. La puissance globale de brouillage de la liaison de connexion et le rapport C/I s'obtiennent de la même manière et les deux valeurs globales de C/I sont alors combinées pour donner le rapport total de C/I .

Pour l'erreur sur le maintien en position et l'erreur de pointage des antennes d'émission des satellites, il faut prendre en considération les valeurs qui donnent le niveau minimal pour le signal utile reçu et le niveau maximal pour le signal reçu du satellite brouilleur. Lorsque le satellite brouilleur est vu sous un angle de site inférieur à celui du satellite «utile», les conditions de brouillage les plus défavorables se présentent le plus souvent par atmosphère claire. Inversement, si l'angle de site du satellite brouilleur est le plus grand, ces conditions de brouillage se présentent généralement par forte pluie. Si on ne possède pas suffisamment de données pour pouvoir évaluer les évanouissements, on peut appliquer la formule suivante:

$$A = S_a(R, f) l(\theta, R) \quad \text{dB} \quad (6)$$

où:

- A : affaiblissement du signal par mauvais temps (dB)
- S_a : affaiblissement spécifique (dB/km), qui est une fonction du taux de précipitation, R (mm/h) et de la fréquence porteuse, f . Le Rapport 563 donne des valeurs de R pour diverses zones climatiques et en fonction du pourcentage d'une année moyenne. Les valeurs de S_a peuvent être déterminées d'après le Rapport 721 (Fig. 1 ou Fig. 2), connaissant les valeurs de R et f
- l : longueur équivalente du trajet (km) à travers la pluie; cette longueur dépend de l'angle de site, θ et du taux de précipitation, R (voir le Rapport 564).

Les facteurs influençant l'affaiblissement dû aux précipitations sont étudiés en détail dans [CCIR, 1974-78b].

7. Principales étapes de la planification

L'objet de ce paragraphe est de donner quelques indications sur les étapes successives de la planification.

7.1 *Calcul des faisceaux d'antenne et des p.i.r.e.*

Pour la planification, il s'est révélé utile, dans le passé, d'admettre que tous les faisceaux qui couvrent les diverses zones de service ont des sections transversales circulaires ou elliptiques. Il est probable que certains systèmes en exploitation effective fonctionneront avec des faisceaux modelés, pour réaliser la couverture souhaitée; cela étant, une autre solution consiste à postuler l'utilisation de faisceaux modelés pour évaluer la marge de protection. Si on applique cette solution, il pourra être nécessaire de modifier certaines des étapes de planification décrites ci-après. Ce point nécessite un complément d'étude.

Pour des faisceaux circulaires ou elliptiques, les éléments à déterminer sont les suivants:

- les coordonnées du centre de la zone de service défini comme le point où l'axe du faisceau rencontre la surface de la Terre;
- les dimensions du grand axe et du petit axe de la section elliptique du faisceau; ces dimensions sont de préférence à spécifier de telle manière que le contour de la section elliptique corresponde au contour de rayonnement à -3 dB de l'antenne d'émission;
- la réduction ΔG du gain de l'antenne d'émission entre le centre et le contour nominal de la zone de service (voir le Rapport 810);
- l'orientation du grand axe de la section elliptique, de préférence sous la forme de l'azimut de la trace du grand axe sur la surface de la Terre par rapport au méridien passant par le centre de la zone de service;
- l'orientation du grand axe de la section elliptique, déterminée comme suit: dans un plan normal au faisceau, la direction du grand axe de l'ellipse est définie par l'angle, mesuré dans le sens trigonométrique, entre une droite parallèle au plan de l'équateur et le grand axe de l'ellipse.

Pour le calcul, il y a lieu de tenir compte de l'erreur admissible sur le pointage et la rotation de l'antenne d'émission, de sorte que le pays considéré reste couvert dans tous les cas, ainsi que d'une limitation éventuelle des dimensions de l'antenne d'émission qui entraînerait une dimension minimale des faisceaux réalisables.

Ces paramètres peuvent être optimisés sur la base de certains critères spécifiés. Les études de l'UER, décrites dans le Rapport 809, étaient fondées sur les critères suivants:

- les frontières des pays sont représentées, par approximation, par un polygone qui doit être entièrement couvert par le faisceau;
- l'optimisation est faite de telle sorte que le rapport des surfaces (mesurées dans un plan de projection perpendiculaire à l'axe du faisceau) de la section du faisceau et de la projection du polygone correspondant à un pays soit aussi voisin que possible de l'unité.

Dans des études faites au Canada [CCIR, 1974-78c], on représente les frontières des pays comme ci-dessus, mais l'optimisation (par réduction au minimum de la section du faisceau) est rendue possible par l'emploi de la projection sur une sphère dont le satellite occupe le centre.

Comme le faisceau optimal pour une zone de service dépend de la position sur l'orbite, il peut être avantageux de faire les calculs une fois pour toutes, pour un grand nombre de positions espacées par exemple de $2,5^\circ$ en $2,5^\circ$ à l'intérieur des arcs utilisables. On constitue ainsi un fichier des faisceaux optimaux pour les divers pays.

Une fois les faisceaux définis, les puissances d'émission nécessaires se déterminent par les calculs habituels de bilans de liaisons (voir le Rapport 215). Pratiquement, les valeurs réelles de la puissance peuvent s'écarter des valeurs nominales spécifiées par le plan, d'une quantité appelée marge de puissance en exploitation (voir le Rapport 810).

7.2 *Calcul des matrices copolaire et contrapolaire des discriminations d'émission*

Ces matrices donnent, respectivement pour la composante copolaire et pour la composante contrapolaire, et pour le point le plus défavorisé de chaque pays le rapport:

$$\frac{\text{puissance surfacique copolaire utile}}{\text{puissance surfacique copolaire (ou contrapolaire) de brouillage}}$$

Les termes de ces matrices s'appliquent à tous les couples possibles de pays brouilleur et brouillé; les calculs sont à faire en tenant compte des conditions les plus défavorables pour le pointage des antennes d'émission. Ces matrices sont, en première approximation, invariantes pour tout changement des positions sur l'orbite pourvu qu'à chaque position on utilise toujours le faisceau optimal. On peut donc calculer les matrices avec un choix arbitraire de positions provisoires.

Ces matrices peuvent servir à:

- indiquer, de façon indépendante des positions sur l'orbite et donc de la discrimination de l'antenne de réception, l'intensité relative des brouillages potentiels entre zones de service;
- calculer le niveau réel des brouillages entre deux zones de service lorsque les positions sur l'orbite sont connues; on doit alors ajouter la discrimination de l'antenne de réception à la discrimination de l'antenne d'émission et tenir compte des polarisations relatives.

7.3 *Matrice des brouillages pour la réception*

On peut également calculer, lorsque les positions d'orbite sont provisoirement assignées à l'avance, une matrice des brouillages qui donne pour chaque couple de pays le rapport puissance utile/puissance de brouillage à la sortie de l'antenne de réception.

Le principal intérêt de la matrice des brouillages est de permettre d'identifier, pour chaque zone de service brouillée, l'émission qui donne lieu au brouillage prépondérant. S'il se présente un cas de brouillage critique et que l'on décide de retoucher le plan étudié, la matrice des brouillages fournit un guide en ce qui concerne les assignations qu'il y aurait lieu de modifier pour améliorer le Plan.

En outre, la matrice des brouillages donne une première idée de la répartition réelle des brouillages, car en toute première approximation on peut faire intervenir les brouillages multiples à l'aide d'un facteur de correction, estimé par exemple à 3 dB, que l'on applique, pour un pays brouillé donné, au terme de la matrice correspondant au brouilleur prépondérant.

7.4 *Algorithmes d'assignations de canaux, de positions d'orbite et de polarisations*

Le nombre de plans théoriquement imaginables est si élevé qu'on ne peut espérer les passer tous en revue. Il est donc utile de disposer d'une ou de plusieurs méthodes, qui peuvent prendre la forme d'algorithmes programmés sur ordinateur, et qui permettent d'obtenir rapidement un certain nombre de projets de plans plus ou moins satisfaisants. Ces algorithmes doivent avoir pour objet de proposer des assignations telles que les brouillages soient faibles. D'autres méthodes permettent de préparer manuellement des projets de plan analogues, sans le recours à des ordinateurs.

Plusieurs programmes d'ordinateur ont été établis dans plusieurs pays (voir le Rapport 812). Certains de ces programmes permettent de produire des plans dans lesquels toutes les marges de protection sont positives avec le nombre minimal de canaux, ou dans lesquels les marges de protection les plus petites sont maximisées pour un nombre donné de canaux. Les plans ainsi obtenus peuvent être modifiés par des méthodes manuelles, dans les cas où les conséquences de ces modifications sont peu importantes: par exemple, orientation des faisceaux, p.i.r.e., etc. Toutefois, certains éléments ne peuvent pas être modifiés sans qu'il en résulte un bouleversement complet du plan optimisé.

Même si on utilise un ordinateur, certaines des opérations de planification peuvent être effectuées manuellement; en particulier, l'assignation des polarisations peut se faire systématiquement par application de certaines règles simples. Par exemple, conformément aux indications du § 5.3, on peut assigner des polarisations orthogonales à des satellites qui utilisent des canaux adjacents à partir de la même position orbitale, ou qui utilisent le même canal à partir de positions orbitales adjacentes. Il convient de signaler cependant que ces règles manuelles sont d'une utilisation moins souple que les algorithmes de recherche opérationnelle sur ordinateur.

Dans le cas où les liaisons de connexion sont planifiées en même temps que les liaisons descendantes (comme dans le cas de la CARR SAT-83, Région 2), on sait qu'il est très avantageux d'ajuster individuellement les contributions du bruit et du brouillage de la liaison de connexion et de la liaison descendante. Cependant, la complexité du processus de planification en est considérablement accrue et il est encore plus indispensable d'avoir recours à des ordinateurs.

Si l'on admet que la liaison descendante dominera les bilans de bruit et de brouillage, l'approche globale en matière de planification des liaisons de connexion et des liaisons descendantes consistera, dans un premier temps, à attribuer les ressources orbite/spectre à la liaison descendante. Il faut tout d'abord mener de front une synthèse et une analyse dans une boucle d'optimisation. En second lieu, il faut attribuer les possibilités correspondantes du spectre à la liaison de connexion (au stade initial, l'orbite a déjà été assignée ou au moins soumise à des contraintes). Il faut également mener de front une synthèse et une analyse dans une boucle d'optimisation (cependant, cette boucle peut être grandement simplifiée par rapport à celle de la liaison descendante). Ce processus de planification en deux étapes peut être rattaché à une analyse globale et répété jusqu'à ce qu'on obtienne une assignation acceptable. La Fig. 7a décrit la totalité du processus.

Une seconde approche permet de procéder beaucoup plus simplement à l'optimisation simultanée de la liaison de connexion et de la liaison descendante et consiste à mener de front une synthèse et une analyse dans une boucle d'optimisation, comme l'indique la Fig. 7b [CCIR, 1978-82b]. Cependant, cette approche produira les mêmes assignations relatives pour la liaison de connexion et pour la liaison descendante. Par suite, on obtiendra une fréquence de transposition commune à tous les systèmes considérés. Cette approche suppose l'utilisation d'un répéteur complètement transparent, c'est-à-dire sans filtrage supplémentaire des canaux adjacents, sans suppression ou renforcement des signaux peu importants (en raison du fonctionnement à saturation ou presque du tube à ondes progressives non linéaire). Lorsque cette transposition commune impose des contraintes trop élevées, le plan pourrait être revu de manière à s'inspirer de la première approche décrite ci-dessus, en vue de satisfaire à des besoins particuliers qui sont incompatibles avec la transposition de fréquences exacte du plan de la liaison descendante, ce qui permettrait de mieux optimiser le Plan.

Cette seconde approche n'apporte qu'une des simplifications possibles au problème de la planification de la liaison de connexion et des liaisons de radiodiffusion. Un complément d'étude est nécessaire pour identifier d'autres méthodes.

8. Critères pour le choix de la méthode de planification et l'évaluation du Plan

8.1 Critères généraux pour le choix d'une méthode de planification

On pourrait se fonder sur des critères généraux pour choisir, parmi les diverses méthodes possibles pour planifier l'utilisation de l'orbite et du spectre, celle qui conviendra le mieux à tel ou tel ensemble de circonstances. Les critères ci-après sont proposés sur la base des études du GTI 4/1:

Ces onze critères ont été présentés dans un ordre arbitraire, car il est reconnu que l'importance relative de chacun d'eux varie d'une administration à l'autre. Toutefois, ce qu'il y a lieu de faire est de commencer par fixer les objectifs avec leur importance relative, puis d'évaluer la mesure dans laquelle chaque méthode de planification est capable de les atteindre. La durée de validité du Plan a également une influence sur l'évaluation des objectifs.

Ces critères ne s'appliquent pas tous à tous les cas de planification. Leur application dépend de la bande de fréquences considérée.

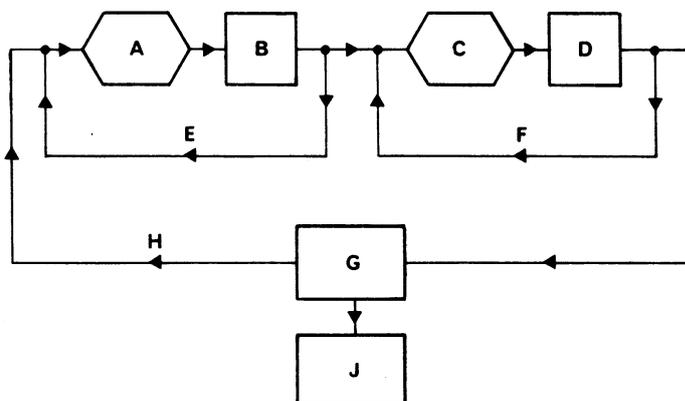


FIGURE 7a – Processus de planification des liaisons de connexion et des liaisons descendantes du service de radiodiffusion par satellite

- A: *synthèse pour les liaisons descendantes*
Assigner – canaux pour les liaisons descendantes
– polarisation pour les liaisons descendantes
– emplacement orbital
- B: *analyse pour les liaisons descendantes*
- C: *synthèse pour la liaison de connexion*
Assigner – canaux pour la liaison de connexion
– polarisation pour la liaison de connexion
- D: *analyse des liaisons de connexion*
- E: *itération inacceptable du plan des liaisons descendantes*
- F: *itération inacceptable du plan pour les liaisons de connexion*
- G: *analyse complète*
- H: *itération inacceptable de l'ensemble du plan*
- J: *documentation acceptable de l'ensemble du plan*

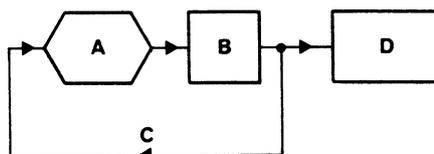


FIGURE 7b – Processus simplifié de planification simultanée des liaisons de connexion et des liaisons descendantes

- A: *synthèse du plan*
Assigner – des canaux pour les liaisons de connexion et les liaisons descendantes
– position orbitale et polarisation
- B: *analyse du plan*
- C: *itération inacceptable du plan*
- D: *documentation acceptable du plan*

8.1.1 *Accès équitable*

La méthode garantit-elle en pratique, à tous les pays, l'accès équitable à l'orbite des satellites géostationnaires et aux bandes de fréquences que l'on planifie?

8.1.2 *Besoins de services*

8.1.2.1 Est-il possible de faire des prévisions valables des besoins du service de radiodiffusion par satellite, pouvant servir de base pour les allotissements à inscrire dans le Plan?

8.1.2.2 Est-il possible de définir dans le plan des allotissements qui permettent de satisfaire aux divers besoins probables, y compris pour des systèmes à satellites desservant plusieurs administrations?

8.1.3 *Prise en compte de nouveaux systèmes non prévus ou de variation des besoins*

Existe-t-il une procédure efficace permettant de prendre en compte les nouveaux systèmes non prévus, ou l'augmentation ou la diminution des besoins du service de radiodiffusion par satellite (par exemple, transfert des services sur de nouveaux satellites fonctionnant dans d'autres bandes de fréquence)?

8.1.4 *Prise en compte des systèmes existants*

La méthode de planification assure-t-elle la protection des systèmes déjà en exploitation pendant la mise en œuvre et l'application du Plan?

8.1.5 *Fixation et modification des caractéristiques techniques et des critères de brouillage*

8.1.5.1 Est-il possible de fixer et de maintenir pendant la durée d'application du plan des caractéristiques techniques et des critères de brouillage tenant compte de l'évolution technologique et des exigences des services prévisibles?

8.1.5.2 Est-il prévu de modifier les caractéristiques techniques et les critères de brouillage du Plan, pour tirer parti de réalisations techniques plus efficaces et moins coûteuses?

8.1.6 *Restrictions dues au partage avec d'autres services*

La méthode impose-t-elle des contraintes de partage supplémentaires aux services de Terre ou spatiaux, planifiés ou non planifiés, du fait du partage d'une même attribution de fréquences?

8.1.7 *Utilisation efficace de la ressource orbite-spectre*

8.1.7.1 La méthode de planification permet-elle une utilisation efficace de la ressource orbite-spectre?

8.1.7.2 Incite-t-elle à appliquer des normes techniques optimales?

8.1.8 *Répercussions sur les coûts des systèmes à satellites*

Le Plan comprend-il des dispositions qui, pendant sa durée d'application, risqueraient d'obliger les administrations à utiliser progressivement des systèmes à satellites plus coûteux? Le Plan permet-il aux administrations de tirer parti des économies de coût rendues possibles par les progrès futurs?

8.1.9 *Coûts administratifs*

La mise en œuvre et l'application du Plan, au niveau administratif, imposent-elles un grand volume de travail aux personnels administratifs et techniques, compte tenu de l'importance relative des coûts de système et des coûts administratifs?

8.2 *Evaluation d'un plan*

8.2.1 *Introduction*

Il est souhaitable de disposer de méthodes précises et si possible normalisées pour évaluer les résultats de tel ou tel projet, afin de pouvoir en analyser un certain nombre et choisir celui qui présente le maximum d'avantages. La qualité d'un plan peut être jugée de divers points de vue dont certains ne sont pas nécessairement chiffrables.

8.2.2 *Efficacité d'utilisation de la ressource orbite-spectre*

Un critère fondamental est l'efficacité d'utilisation de la ressource orbite-spectre mise à la disposition des utilisateurs du Plan. Cette efficacité serait mesurée par le nombre maximal de programmes ou de canaux qui seraient transmis par un nombre donné de satellites utilisant un arc d'orbite limité et une largeur de spectre limitée. Ce sujet a été l'objet de plusieurs études [CCIR, 1974-78d].

8.2.3 *Marges de protection*

Un autre facteur à considérer est la marge de protection, telle que décrite ci-dessous.

8.2.3.1 *Marge globale de protection dans le même canal*

La marge globale de protection dans le même canal est définie au § 4.7 de la Recommandation 566. Cette marge caractérise la qualité du plan considéré en ce sens que, si sa valeur n'est nulle part négative, les brouillages dans le même canal sont partout acceptables. Contrairement à la matrice des brouillages, la marge globale de protection fait intervenir les brouillages dus à toutes les émissions utilisant le même canal. Son calcul est à faire pour chacun des points de réception envisagés et, afin de donner une idée de sa répartition statistique à l'intérieur de chaque pays brouillé, on peut retenir les valeurs de la marge globale de protection qui sont dépassées en 100%, 90%, 50% et 0% des emplacements de réception.

8.2.3.2 *Marge globale de protection pour le canal adjacent*

La marge globale de protection pour le canal adjacent et celle qui concerne le deuxième canal adjacent se trouvent respectivement définies aux § 4.8 et 4.9 de la Recommandation 566.

8.2.3.3 *Marge globale de protection équivalente*

Bien qu'il importe, pour les besoins de la planification, de considérer séparément la marge globale de protection pour le même canal et pour les canaux adjacents, lorsqu'on évalue un plan, il est souvent indiqué d'utiliser une marge globale de protection équivalente, comme défini au § 4.10 de la Recommandation 566.

Tous les calculs de marge de protection sont basés sur la somme des puissances des différents brouilleurs. Des mesures effectuées récemment au Canada [CCIR, 1982-86a] et aux Etats-Unis [CCIR, 1982-86b] ont fait apparaître que la somme des puissances est une approximation, qui peut être légèrement pessimiste pour les brouilleurs dans le même canal et optimiste pour les brouilleurs dans les canaux adjacents. Les mesures indiquent que les brouilleurs multiples dans les canaux adjacents se combinent pour produire un effet nuisible qui est de 2 à 6 dB plus fort que la somme des puissances. Dans le cas de la combinaison des brouilleurs dans le même canal et des brouilleurs dans les canaux adjacents, l'effet est la somme des puissances des effets brouilleurs individuels de la gamme des rapports porteuse/brouillage. Pour les valeurs élevées de ce rapport, les effets subjectifs sont dominés par le brouillage dans le même canal, alors que pour les petites valeurs c'est le brouillage dans les canaux adjacents qui est le plus important. Des détails sur les mesures figurent dans le Rapport 634.

Un plan pourrait alors être considéré comme acceptable dans chaque zone de service dès lors que les marges globales équivalentes de protection sont positives ou voisines de zéro.

8.2.4 *Simulation des scénarios les plus pessimistes*

Lorsque l'on simule des scénarios de toute méthode de planification, on a pour habitude de faire les essais pour l'apparition simultanée des cas les plus défavorables des nombreuses variables concernées, par exemple:

- rapport de protection
- caractéristiques de discrimination de l'antenne
- tolérances d'erreur de pointage de l'antenne
- tolérances de maintien en position
- différence entre les affaiblissements par la pluie
- tolérances de puissance d'émission
- tolérances de gain à la réception, etc.

Pour bien faire, il faudrait une méthode statistique pour garantir un rapport de protection adéquat, une certaine valeur du rapport C/I (puissance du signal utile/puissance du signal brouilleur) étant assurée pendant un certain pourcentage du temps, un peu comme pour l'affaiblissement dû aux précipitations et pour la perception subjective de la qualité de l'image (qui constitue, après tout, le critère décisif final).

Il est toutefois pratiquement impossible de déterminer la nature statistique d'un jeu de tolérances interdépendantes puisque, dans certains cas, on ne dispose pas de données statistiques, que dans d'autres cas, ces données statistiques varient avec le temps (par exemple, conditions météorologiques ou vieillissement) et que, dans d'autres cas encore, les données statistiques (par exemple, erreur de maintien en position ou de pointage du faisceau) sont établies par des exploitations différentes qui peuvent adopter des stratégies de rectification différentes. Dans ces circonstances, il faut admettre un plan intégralement appliqué avec une combinaison des cas les plus défavorables pour les paramètres et tolérances ci-dessus.

9. **Conséquences du Plan établi pour les Régions 1 et 3 et résultats d'autres travaux**

Le Plan adopté par la CAMR-RS-77 pour les Régions 1 et 3 montre que l'on peut obtenir en général cinq programmes par zone de service avec un écartement de 19,18 MHz entre canaux et un espacement nominal de 6° entre satellites. Le Plan prévoit un petit nombre de marges de protection équivalentes négatives (de l'ordre de -1 à -3 dB par rapport au rapport de protection de 31 dB), mais il est généralement considéré comme satisfaisant.



Une étude [CCIR, 1974-78e] fournit des renseignements sur la discrimination nécessaire quand deux satellites de radiodiffusion desservent, sur les mêmes fréquences, des zones qui se chevauchent. La Fig. 8 représente la variation du rapport de protection en fonction de l'angle de discrimination des antennes, pour un partage de fréquences entre des satellites de radiodiffusion. Les travaux entrepris par l'UER sont résumés dans [Mertens et autres, 1976].

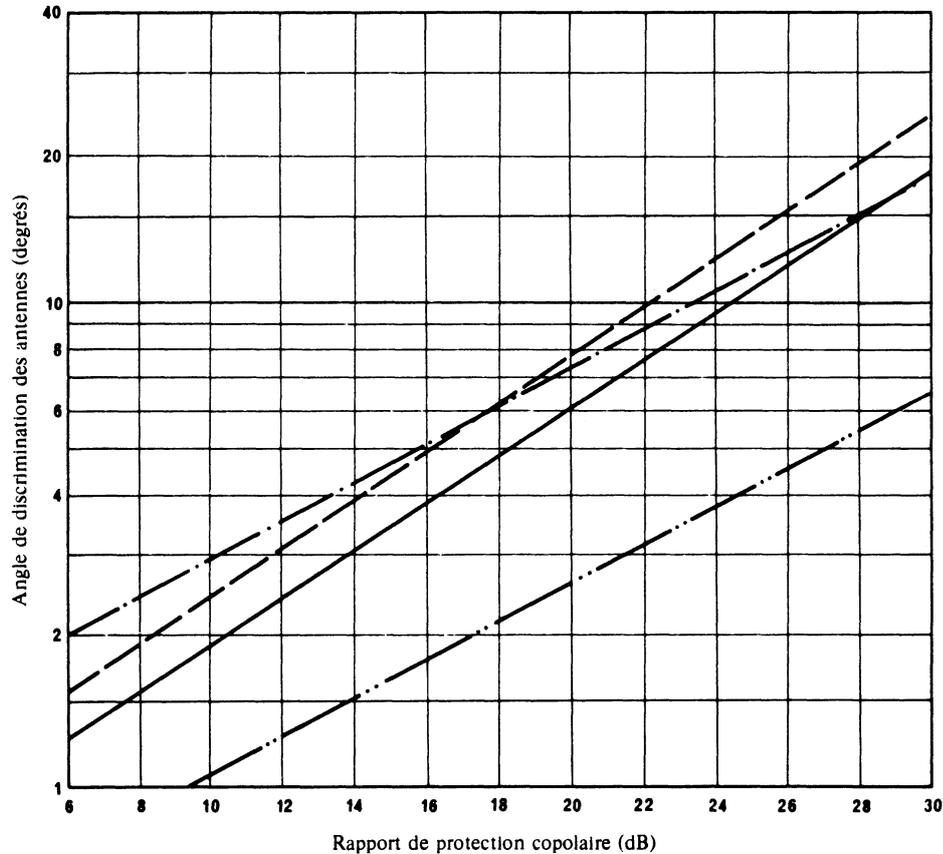


FIGURE 8 – Variation du rapport de protection en fonction de l'angle de discrimination des antennes pour le partage des fréquences entre satellites de radiodiffusion

- Protection entre satellites de radiodiffusion pour réception individuelle (diamètre d'antenne, 1 m; ouverture de faisceau, 1,7°; gain, 39,2 dB)
- - - Protection entre satellites de radiodiffusion pour réception individuelle (diamètre d'antenne, 0,75 m; ouverture de faisceau, 2,2°; gain, 36,7 dB)
- · - · - Protection entre satellites de radiodiffusion pour réception communautaire (diamètre d'antenne, 1,5 m; ouverture de faisceau, 1,1°; gain, 42,7 dB)
- · - · - Protection de satellites de radiodiffusion pour réception communautaire contre des satellites pour réception individuelle

10. Résultats du Plan pour la Région 2

10.1 Le Plan

Le Plan adopté par la CARR SAT-83 a permis de faire face à presque tous les besoins en matière de service de radiodiffusion par satellite présentés à cette Conférence. Parmi eux figuraient des positions de satellite multiples, chacune avec la totalité de la bande (12,2-12,7 GHz), pour les pays ayant les besoins les plus importants, pas moins de quatre canaux pour tout pays et plusieurs faisceaux régionaux pour les pays qui les avaient demandés.

Une évaluation du Plan faite à l'ordinateur a mis en évidence plusieurs marges globales équivalentes de protection négatives, mais elles furent en général considérées comme acceptables par toutes les administrations qui participèrent à la Conférence CARR SAT-83.

La capacité moyenne de ce Plan par zone de service est notablement plus grande que celle du Plan pour les Régions 1 et 3. Les principales raisons en sont les suivantes:

- le plus faible rapport de protection adopté (28 dB au lieu de 31),
- l'emploi d'espacements entre satellites non réguliers,
- l'adoption de paramètres techniques reflétant une technologie plus avancée, notamment pour ce qui est des diagrammes d'antennes de référence,
- l'emploi de positions orbitales multiples et des deux sens de polarisation pour une même zone de service,
- l'exploitation systématique des particularités géographiques de la Région 2,
- il y a moins de zones de service par degré de longitude dans la Région 2 que dans les Régions 1 et 3 (voir le § 10.2 ci-dessous).

10.2 *Caractéristiques géographiques particulières de la Région 2*

10.2.1 *Limites*

La Région 2 diffère des deux autres Régions par le fait que ses limites, aussi bien à l'est qu'à l'ouest, sont des limites océaniques sur toute leur longueur. A deux exceptions près – l'Islande et l'est de la Sibérie – il n'existe pas de grandes masses continentales habitées à l'extérieur ni à proximité de ces limites. Par ailleurs, la limite «est» comme la limite «ouest» ont une orientation générale nord-sud. Il en résulte des interactions relativement faibles entre le service de radiodiffusion par satellite en Région 2 et les services exploités dans les mêmes bandes de fréquences en Régions 1 et 3. Ces interactions sont analysées en détail dans le Rapport 809.

10.2.2 *Division en sous-régions*

Pour planifier l'utilisation de l'orbite on peut considérer que la Région 2 se compose de trois sous-régions: l'Amérique du Sud, l'Amérique centrale et l'Amérique du Nord. Le Groenland, qui appartient à la Région 2, ne fait pas partie à proprement parler de l'Amérique du Nord, mais il en est un prolongement géographique.

Une des caractéristiques de cette division est une interaction relativement faible entre les attributions de fréquences et de positions orbitales faites respectivement pour l'Amérique du Nord et pour l'Amérique du Sud. Bien entendu, les séparations exactes, exprimées en ouvertures de faisceau, dépendent de l'étendue des zones de service choisies, surtout dans les pays les plus grands qui seront probablement couverts par plusieurs zones de service. Mais, pour la plupart des choix probables, les seules zones de service de l'Amérique du Nord et de l'Amérique du Sud qui sont séparées les unes des autres par moins de 1,6 ouverture de faisceau sont le Mexique au nord, la Colombie et le Venezuela au sud.

Par contre, il y a de grandes interactions entre l'Amérique centrale (y compris les îles des Caraïbes) et l'Amérique du Nord, et entre l'Amérique centrale et l'Amérique du Sud. Il convient de souligner un fait important: les zones de service en Amérique centrale sont peu étendues, mais leur nombre est relativement grand. Il a fallu tenir compte de ce fait pour la planification.

10.2.3 *Conséquences*

On peut tirer parti des caractéristiques géographiques susmentionnées pour améliorer l'utilisation de l'orbite-spectre dans le Plan de radiodiffusion par satellite à 12 GHz pour la Région 2. On peut en particulier placer deux satellites fonctionnant dans les mêmes canaux et desservant respectivement des zones de l'Amérique du Nord et de l'Amérique du Sud, très près l'un de l'autre sur l'orbite des satellites géostationnaires. A la limite, lorsque les satellites desservent des zones séparées par au moins 5 à 8 ouvertures de faisceau (éventuellement moins si l'on utilise des faisceaux modelés), en prenant comme base la plus grande zone de service, ils peuvent occuper la même position. Si les satellites desservent des zones moins éloignées l'une de l'autre, comme c'est le cas lorsqu'un satellite dessert l'Amérique centrale et qu'un autre dessert l'Amérique du Nord ou l'Amérique du Sud, des séparations plus importantes sont nécessaires mais elles restent tout de même inférieures à celles nécessaires pour une zone de service adjacente.

Une étude des caractéristiques géographiques intéressant la planification se trouve dans le § 10.4 du Rapport 453.

11. **Critères de planification pour les autres bandes dans lesquelles des fréquences sont attribuées au service de radiodiffusion par satellite**

11.1 *Introduction*

Les autres bandes de fréquences attribuées à la radiodiffusion par satellite sont les suivantes: de 620 à 790 MHz, de 2500 à 2690 MHz, de 22,5 à 23 GHz, de 40,5 à 42,5 GHz et de 84 à 86 GHz. On possède très peu de données sur la planification des bandes des 23, 42 et 85 GHz, si ce n'est que les phénomènes liés à la propagation dans l'atmosphère auront une très grande importance.

11.2 *Systèmes à 2,6 GHz**

Selon les dispositions du Règlement des radiocommunications, l'utilisation de la bande de 2,6 GHz par le service de radiodiffusion par satellite est limitée aux systèmes nationaux et régionaux pour la réception communautaire (voir le numéro 757 du Règlement des radiocommunications).

Dans le présent Rapport, les résultats d'une étude [CCIR, 1970-74a] portant sur la réception communautaire figurent au Tableau II ci-dessous.

TABLEAU II

Système	Fréquence (GHz)	Largeur de bande (MHz)	Rapport de protection (dB)	Espacement des satellites (degrés)	Diagramme de rayonnement
1	2,6	22	30	4	A
2	2,6	22	33	2,8	B

Diagramme A: $\Delta G = 10,5 + 25 \log (\varphi / \varphi_0)$ dB

Diagramme B: $\Delta G =$ la plus petite des deux valeurs: $10 \log [1 + (2\varphi / \varphi_0)^{6N-9}]$ ou $3 + 10 \log [80N + (2\varphi / \varphi_0)^9]$ dB

où: ΔG est égal au gain dans l'axe diminué du gain à l'angle φ .
 Pour les deux diagrammes, $\Delta G \leq 40$ dB
 et N est le taux exponentiel d'affaiblissement en fonction de l'écart angulaire du lobe latéral, par exemple, pour la réception individuelle, $N=2$ et pour la réception communautaire, $N=2,5$.

11.3 *Systèmes à 700 MHz**

En ce qui concerne l'efficacité de l'utilisation de l'orbite géostationnaire, des études montrent que, pour le service de radiodiffusion par satellite (télévision) utilisant des fréquences voisines de 700 MHz, il y a lieu d'adopter les critères suivants pour la modulation de fréquence avec excursion crête-à-crête de 8 à 16 MHz:

11.3.1 Pour le partage des fréquences entre des zones qui ne se chevauchent pas et qui sont desservies à partir d'une même position orbitale sur l'orbite géostationnaire, la discrimination totale nécessaire pour obtenir le rapport de protection doit être réalisée par abaissement du rayonnement dans les lobes latéraux des antennes d'émission. En règle générale, ce critère exigerait une séparation minimale des zones de service approximativement égale à la séparation correspondant au premier minimum du diagramme de rayonnement de l'antenne d'émission. L'emploi de polarisations circulaires orthogonales pourrait se révéler efficace dans le cas de zones de service peu éloignées les unes des autres.

11.3.2 Avec les émetteurs partageant le même canal et placés dans des positions orbitales différentes, un espacement minimal utile pourrait être approximativement celui correspondant à l'angle compris entre l'axe du faisceau principal et le premier minimum du diagramme de rayonnement de l'antenne de réception, en admettant que celui-ci serait le même pour toutes les installations de réception. L'antenne d'émission et l'antenne de réception doivent assurer globalement une discrimination suffisante pour obtenir le rapport de protection.

11.3.3 Si l'on veut que les effets de propagation aient peu d'influence et si l'on veut en même temps réaliser une économie de positions orbitales des satellites géostationnaires, il faut que la longitude d'un satellite de radiodiffusion ne s'écarte pas de plus de 45° environ de la longitude moyenne de la zone de service de ce satellite. Lorsqu'on détermine la position d'un satellite par rapport à cette longitude moyenne, il faut aussi tenir compte des conditions de partage avec les services de télévision de Terre.

On a étudié le nombre des canaux nécessaires pour desservir chaque pays d'un groupe d'environ trente pays. Cette étude [CCIR, 1970-74b] a donné les résultats représentés sur la Fig. 9. On a supposé l'utilisation d'une antenne pour réception communautaire. Ces résultats provisoires proviennent d'un exemple seulement; ils devraient être complétés par d'autres études.

* Cette bande est utilisée en partage avec d'autres services, dont beaucoup fonctionnent déjà dans certains pays. De ce fait, la planification pour cette bande risque de se heurter à de grosses difficultés d'ordre pratique pour le partage, dans le cas des équipements existants qui fonctionnent conformément aux assignations correspondant à ces services.

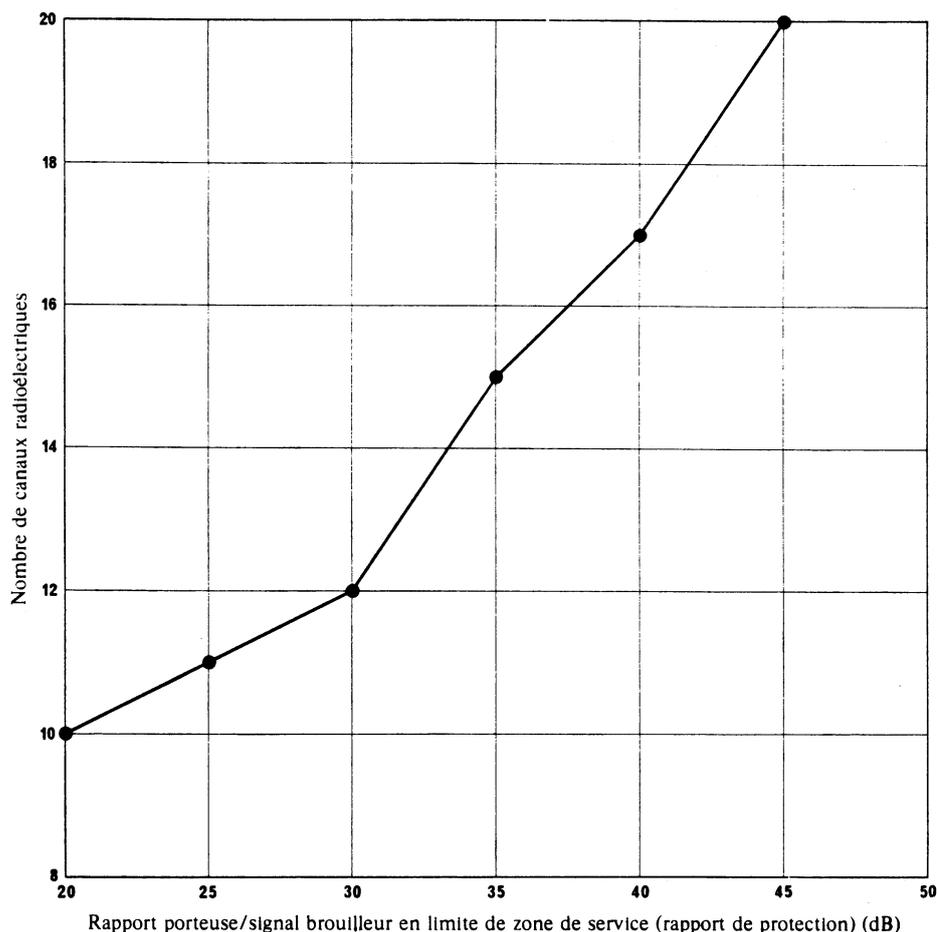


FIGURE 9 – Nombre de canaux radioélectriques requis pour fournir un programme national à trente pays environ d'un continent, en fonction du rapport porteuse/signal brouilleur

(Exemple pour une région caractéristique de l'Asie orientale)

Fréquence : 700 MHz, réception communautaire
 Diamètre de l'antenne de réception au sol : environ 3,5 m (ouverture, 8°)
 Satellite se trouvant à la longitude de la zone de service
 Ouverture de l'antenne du satellite φ : $7^\circ > \varphi \geq 3^\circ$

12. Fonctions du service d'exploitation spatiale

Selon le Règlement des radiocommunications, les fonctions du service d'exploitation spatiale, telles que poursuite, télémétrie et télécommande (TTC) devraient être assurées dans les bandes de fréquences du service fixe par satellite. Pour le sens espace-Terre, ces fonctions peuvent se résumer comme suit :

- télémétrie : transmission continue de faible débit binaire,
- mesure de distance : mesure non continue par signaux ou par codes,
- poursuite de l'antenne d'une station terrienne : continue, sur porteuse résiduelle de télémétrie ou sur porteuse balayée.

Outre les signaux de fonction du service d'exploitation spatiale de la liaison descendante qui sont résumés plus haut, il faut également assurer les fonctions du service de la liaison montante, à savoir :

- la télécommande,
- la poursuite (mesure de distance),
- l'exécution des commandes (après vérification),
- le concours possible d'une balise au sol pour le pointage des faisceaux.

La télécommande et la mesure de distance sont des besoins évidents. Dans la plupart des systèmes de commande, il faut un processus en deux temps pour l'exécution des commandes: la télécommande est retransmise à l'équipement au sol pour vérification par la voie de télémétrie et elle est alors exécutée à l'aide d'une commande séparée à partir du sol. La balise peut être reçue par un détecteur radiofréquence à bord de l'engin spatial et être utilisée pour améliorer la précision de pointage de l'antenne sur la liaison descendante de l'engin spatial.

Lorsque des satellites voisins sont groupés dans un emplacement orbital unique, il est souvent nécessaire qu'ils soient commandés par différents utilisateurs ou par différentes administrations. Dans de tels cas, il peut se produire un brouillage avec des signaux vidéo dû aux signaux de commande multiples qui occupent un canal non linéaire unique de satellite. Une étude [CCIR, 1978-82c] montre que les non-linéarités des canaux, dues essentiellement à des amplificateurs à tubes à ondes progressives, génèrent des produits d'intermodulation à partir des signaux de télécommande multiples qui causent des brouillages dans les canaux adjacents aux bandes de garde. Cette étude est résumée brièvement dans le § 6 de l'Annexe au Rapport 634.

Des indications complémentaires sur les fonctions TTC se trouvent dans le Rapport 1076.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- EDELSON, B. I. et MORGAN, W. L. [septembre 1977] Orbital Antenna Farms, *Astron. Aeronaut.*, Vol. 15, 9, 20-28.
 FORDYCE et STAMMINGER [10-14 juin 1979] The use of geostationary platforms for future US domestic satellites communications. IEEE International Conference on Communications (ICC '79), Boston, Ma., Etats-Unis d'Amérique, Conf. Record, Vol. 3, 49.4/1.5.
 MERTENS, H., ARNAUD, J. F., BROWN, A., GALIC, R. et PHILLIPS, G. J. [mars 1976] Radiodiffusion par satellites. Conception et planification des systèmes à 12 GHz. Doc. tech. 3220 de l'UER.

Documents du CCIR

- [1970-74]: a. 11/69 (Etats-Unis d'Amérique); b. 11/30 (Japon).
 [1974-78]: a. 11/26 (UER); b. 11/384 (Canada); c. 11/105 (Canada); d. 11/155 (Etats-Unis d'Amérique); e. 11/107 (Canada).
 [1978-82]: a. 10-11S/32 (Etats-Unis d'Amérique); b. 10-11S/111 (Canada); c. 10-11S/153 (France).
 [1982-86]: a. 10-11S/55 (Canada); b. 10-11S/49 (Etats-Unis d'Amérique).

BIBLIOGRAPHIE

- IZUMI, T., MATSUSHITA, M., KANEDA, S. et OHMI, K. [décembre 1976] A study for planning broadcasting-satellite service in the 12 GHz band. NHK Lab. Note, N° 205.
 REINHART, E. E. [mai 1974] Orbit spectrum sharing between the fixed satellite and broadcasting satellite services with applications to 12 GHz domestic systems. National Aeronautics and Space Administration, R-1463-NASA.
 SIOCOS, C. A. [1975] Broadcasting-satellite service: Minimum elliptical beam determination. *JSMPT*, Vol. 84, 147-150.

Documents du CCIR

- [1970-74]: 11/312 (UER).
 [1978-82]: 10-11S/31 (Etats-Unis d'Amérique); 10-11S/40 (Canada).

RAPPORT 811-2

SERVICE DE RADIODIFFUSION PAR SATELLITE

Éléments de planification utilisés pour l'établissement des Plans d'assignations de fréquence et de positions orbitales pour le service de radiodiffusion par satellite dans la bande des 12 GHz

(Question 1/10 et 11, Programme d'études 1A/10 et 11)

(1978-1982-1986)

1. Introduction

La première chose à faire pour établir un plan d'assignations de fréquence et de positions orbitales pour le service de radiodiffusion par satellite consiste à choisir les diverses caractéristiques du système en connaissant leurs conséquences sur la planification. Le présent Rapport passe en revue le plus grand nombre possible des caractéristiques qui ont servi de base aux Plans pour la bande 11,7-12,5 GHz dans la Région 1, pour la bande 11,7-12,2 GHz dans la Région 3 et pour la bande 12,2-12,7 GHz dans la Région 2.