

RECOMMANDATION UIT-R S.1002*

Techniques de gestion de l'orbite applicables au service fixe par satellite

(1993)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'une utilisation efficace tant de l'orbite des satellites géostationnaires (OSG) que du spectre des fréquences radioélectriques exige la gestion des segments de l'OSG;
- b) qu'il est intéressant de définir une ou plusieurs séries de paramètres généralisés que l'on pourrait utiliser pour décrire de façon adéquate les réseaux du service fixe par satellite, de façon à faciliter le processus de gestion de l'orbite;
- c) que, pour faciliter la gestion de l'orbite, un modèle précis des paramètres généralisés peut être établi au moyen d'un ou de plusieurs programmes informatiques;
- d) qu'il existe actuellement des programmes informatiques pouvant faciliter la gestion et l'utilisation de l'orbite,

recommande

- 1 que, pour faciliter la gestion d'un segment de l'OSG, des paramètres généralisés puissent être utilisés tel qu'indiqué à l'Annexe 1;
- 2 que des algorithmes performants d'optimisation de l'utilisation de l'orbite, tel qu'indiqué à l'Annexe 2, puissent être employés.

ANNEXE 1

**Paramètres généralisés de réseau à satellite
à utiliser pour la gestion de l'orbite****1 Introduction**

Des études ont été faites pour quantifier les avantages qu'entraîne l'introduction d'un processus d'optimisation destiné à identifier les positions orbitales pour les nouveaux réseaux; ces études ont consisté en quelques exercices types.

Les résultats indiquent que, si la position des nouveaux réseaux a été choisie au hasard et si des positions non optimisées ont été retenues, on perd un notable avantage par rapport à un choix fondé sur le processus d'optimisation. De plus, en particulier avec nombre de réseaux existants, l'optimisation permettrait d'accélérer et de faciliter la coordination entre systèmes.

* La Commission d'études 4 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2001 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 44 (AR-2000).

Le processus de gestion de l'orbite consiste donc à définir une série de paramètres généralisés et à mettre au point des algorithmes informatiques performants et des méthodes efficaces de mise en place.

2 Méthode fondée sur les paramètres A , B , C et D

2.1 Paramètres de réseau A , B , C et D

Les paramètres généralisés A , B , C et D spécifient le potentiel de brouillage (variables A et C) et la sensibilité au brouillage (variables B et D) d'un réseau à satellite.

Etant donné que de nombreuses combinaisons différentes de paramètres de mise en œuvre (par exemple, les caractéristiques d'antenne et la puissance d'émission) peuvent donner un ensemble similaire de valeurs paramétriques, cette série peut être appliquée quelles que soient les caractéristiques de modulation et la fréquence utilisée.

Les paramètres généralisés choisis par la CAMR ORB-88 pour le Plan d'allotissement sont les paramètres A , B , C et D . Ces paramètres sont fondés sur la valeur moyenne de densité de puissance dans la largeur de bande du signal. L'objet de cette série de paramètres est de généraliser non seulement les paramètres normalisés, mais aussi le type de trafic pris comme hypothèse dans le Plan d'allotissement. Pour cela, les puissances d'entrée requises dans l'antenne de la station terrienne normalisée et l'antenne de la station spatiale concernée doivent tout d'abord être déterminées pendant le processus de planification. On convertit ensuite ces résultats en valeurs de densité de puissance (P_1 et P_2 (dB(W/Hz))), en divisant par la largeur de bande du type de signal et on utilise les résultats pour calculer et enregistrer les paramètres généralisés A , B , C et D du Plan.

Les formules ci-dessous donnent les paramètres généralisés A , B , C et D :

- A : densité de la p.i.r.e. hors axe de la liaison montante calculée en moyenne sur la largeur de bande nécessaire de la porteuse modulée
- B : sensibilité* de réception hors axe de la liaison montante par rapport à la densité de la p.i.r.e. brouilleuse calculée en moyenne sur la largeur de bande nécessaire de la porteuse modulée
- C : densité de la p.i.r.e. hors axe de la liaison descendante calculée en moyenne sur la largeur de bande nécessaire de la porteuse modulée
- D : sensibilité* de réception hors axe de la liaison descendante par rapport à la densité de la p.i.r.e. brouilleuse calculée en moyenne sur la largeur de bande nécessaire de la porteuse modulée

$$A = p_1 \cdot g_1(\varphi)$$

$$B = \frac{1}{p_1 \cdot g_1 \cdot \Delta g_2(\psi)}$$

$$C = \frac{p_3 \cdot g_3}{\Delta g_3(\psi)}$$

$$D = \frac{g_4(\varphi)}{p_3 \cdot g_3 \cdot g_4}$$

* A prendre ici au sens de susceptibilité au brouillage et non au sens de la définition technique précise de la sensibilité.

où:

- p_1 : densité de puissance calculée en moyenne sur la largeur de bande nécessaire de la porteuse modulée, appliquée à l'antenne de la station terrienne d'émission (W/Hz)
- g_1 : gain maximal de l'antenne d'émission de la station terrienne (rapport de puissances)
- $g_1(\varphi)$: diagramme de rayonnement de l'antenne d'émission de la station terrienne (rapport de puissances)
- g_2 : gain maximal de l'antenne de réception de la station spatiale
- $g_2(\psi)$: gain de l'antenne de réception de la station spatiale dans la direction de la station terrienne (rapport de puissances)
- $\Delta g_2(\psi)$: discrimination de l'antenne de réception de la station spatiale (rapport de puissances) = $g_2 / g_2(\psi)$:
- p_3 : densité de puissance calculée en moyenne sur la largeur de bande nécessaire de la porteuse modulée, appliquée à l'antenne d'émission de la station spatiale (W/Hz)
- g_3 : gain maximal de l'antenne d'émission de la station spatiale (rapport de puissances)
- $g_3(\psi)$: gain de l'antenne d'émission de la station spatiale dans la direction de la station terrienne
- $\Delta g_3(\psi)$: discrimination de l'antenne d'émission de la station spatiale (rapport de puissances) = $g_3 / g_3(\psi)$:
- g_4 : gain maximal de l'antenne de réception de la station terrienne (rapport de puissances)
- $g_4(\varphi)$: diagramme de rayonnement de l'antenne de réception de la station terrienne (rapport de puissances).

Les paramètres affectés du signe ' (prime) sont ceux du réseau brouilleur.

Ainsi, l'expression du rapport de la densité de puissance désirée à la densité de puissance non désirée (comme définie ci-dessus) est la suivante:

$$(C/I)_{den} = \left[\frac{p'_1 g'_1(\varphi) g_2(\psi')}{p_1 g_1 g_2} + \frac{p'_3 g'_3(\psi) g_4(\varphi')}{p_3 g_3 g_4} \right]^{-1}$$

se ramène simplement à:

$$(C/I)_{den} = [A' * B + C' * D]^{-1}$$

où $(C/I)_{den}$ est le rapport de protection normalisé par le rapport des largeurs de bande utile et brouilleuse. Ce rapport servira à déterminer la matrice d'espacement orbital des réseaux pour la synthèse du Plan.

Lorsqu'un réseau est proposé, on calcule ses paramètres A , B , C et D en utilisant les paramètres effectifs du système et les densités de puissance dont les moyennes ont été établies sur l'ensemble de la largeur de bande du signal. Ces densités de puissance correspondraient à la puissance injectée dans l'antenne, divisée par la largeur de bande du signal effectif proposé. Aux termes de l'Appendice 30B du Règlement des radiocommunications, aucune coordination n'est requise si:

- les valeurs calculées de A et de C sont inférieures ou égales aux valeurs de référence pertinentes;

- les assignations de fréquence proposées sont ordonnées de telle sorte que 60% de la partie supérieure de chaque bande d'allotissement sont utilisés pour les porteuses à haute densité (pour lesquelles le rapport entre le maximum de la densité de puissance spectrale dans 4 kHz et la moyenne de cette densité dans la largeur de bande nécessaire de la porteuse est supérieur à 5 dB) et 40% de la partie inférieure pour les porteuses à faible densité.

Un exemple fondé sur l'examen de certains systèmes et types de trafic actuels montre qu'un grand nombre des porteuses actuelles pourraient être mis en œuvre sans coordination. Le Tableau 1 donne les rapports C/I requis calculés pour les porteuses «MRF-MF normales» d'INTELSAT, pour un répéteur chargé avec un écart entre les porteuses de 1,33 fois la largeur de bande occupée, et un brouillage admissible de 800 pW0p. Le Tableau 2 donne la valeur requise de $(C/I)_{den}$, calculée d'après le Tableau 1, en multipliant les valeurs qui y sont indiquées par un facteur b'/b où b et b' sont les largeurs de bande respectives des signaux utile et brouilleur.

Il ressort du Tableau 2 qu'un critère $(C/I)_{den}$ de 30 dB pour la détermination des positions orbitales de diverses zones de service permet la coexistence d'un grand nombre de combinaisons de signaux MRF-MF dans différents réseaux. Seuls n'entrent pas dans ces combinaisons les signaux qui ont un taux de modulation bas, avec des rapports de la puissance en crête à la puissance moyenne supérieurs à 5 dB. Cela est démontré au Tableau 3.

Pour un brouillage causé à des signaux numériques, de largeurs de bande plus grandes que celle du signal brouilleur, il convient de supposer que plusieurs porteuses brouilleuses retombent dans la bande passante du signal numérique utile. Un rapport C/I de 30 dB et un rapport I/N de 6% donneraient un rapport C/N de 18 dB, ce qui donnerait un TEB meilleur que 1×10^{-7} . Un $(C/I)_{den}$ de 30 dB conviendrait donc pour des signaux numériques.

TABLEAU 1

Rapport C/I pour les signaux MRF-MF INTELSAT

Signal brouilleur utile	12	24	60	60	132	132	132	252	252	432	432	432	792	Indice de mo- dulation	BW (MHz)	C/N (dB)
12	26,6	25,2	24,9	22,7	22,0	20,7	20,1	20,2	18,1	18,5	17,4	16,7	14,1	2,65	1,1	13,4
24	26,5	25,7	25,6	23,9	24,0	22,1	21,6	21,6	19,6	20,0	18,9	18,2	15,7	2,55	2,0	12,7
60	34,3	33,9	33,8	32,5	32,6	30,9	30,4	30,5	28,6	29,0	27,9	27,2	24,7	1,17	2,2	21,1
60	27,9	26,6	26,6	25,7	25,8	24,5	24,1	24,1	22,5	22,8	21,8	21,1	18,7	2,17	4,0	12,7
132	36,2	33,7	33,7	33,4	33,4	32,5	32,2	32,2	30,8	31,1	30,2	29,5	27,1	0,96	4,4	20,7
132	31,8	28,9	28,9	28,0	28,0	27,4	27,1	27,1	25,9	26,2	25,4	24,8	22,5	1,61	6,7	14,4
132	32,2	29,2	29,2	28,1	28,1	27,5	27,2	27,3	26,1	26,4	25,6	25,1	22,9	1,85	7,5	12,7
252	37,8	34,6	34,6	32,4	32,4	32,2	32,1	32,1	31,3	31,5	30,9	30,5	28,4	0,96	8,5	19,4
252	33,7	30,7	30,7	27,9	27,9	27,3	27,2	27,2	26,6	26,7	26,3	25,9	24,1	1,55	12,4	13,6
432	41,5	38,5	38,5	34,6	34,6	33,7	33,8	33,7	33,6	33,7	33,4	33,2	31,7	0,82	13,0	21,2
432	39,3	36,3	36,3	33,0	33,0	31,6	31,4	31,4	31,1	31,2	31,0	30,7	29,4	1,07	15,7	18,2
432	37,8	34,7	34,7	31,7	31,7	30,0	29,6	29,6	29,4	29,5	29,2	29,0	27,7	1,27	18,0	16,1
792	40,6	37,5	37,5	34,5	34,5	32,8	31,4	31,4	30,1	30,1	29,8	29,8	29,2	1,24	32,4	16,5

BW : largeur de bande

TABLEAU 2
Rapport $(C/I)_{den}$ pour des signaux MRF-MF INTELSAT

Signal brouilleur utile	12	24	60	60	132	132	132	252	252	432	432	432	792	Indice de modulation	BW (MHz)
12	26,6	27,8	27,5	28,3	28,8	28,5	28,4	29,1	28,6	29,2	28,9	28,8	28,8	2,65	1,1
24	23,9	25,7	26,0	26,9	27,4	27,4	27,3	27,9	27,5	28,1	27,8	27,7	27,8	2,55	2
60	31,3	33,5	33,8	35,1	35,6	35,7	35,7	36,4	36,1	36,7	36,4	36,3	36,4	1,17	2,2
60	22,3	23,6	24,0	25,7	26,2	26,7	26,8	27,4	27,4	27,9	27,7	27,6	27,8	2,17	4
132	30,2	30,3	30,7	33,0	33,4	34,3	34,5	35,0	35,3	35,8	35,7	35,6	35,8	0,96	4,4
132	23,9	23,6	24,1	25,8	26,2	27,4	27,6	28,1	28,6	29,1	29,1	29,1	29,3	1,61	6,7
132	23,9	23,5	23,9	25,3	25,8	27,0	27,2	27,8	28,3	28,8	28,8	28,9	29,3	1,85	7,5
252	28,9	28,3	28,7	29,1	29,5	31,2	31,6	32,1	32,9	33,3	33,6	33,8	34,2	0,96	8,5
252	23,2	22,8	23,2	23,0	23,4	24,6	25,0	25,7	26,6	26,9	27,3	27,5	20,3	1,55	12,4
432	30,8	30,4	30,8	29,5	29,9	30,8	31,4	31,9	33,4	33,7	34,2	34,6	35,7	0,82	13
432	27,8	27,4	27,8	27,1	27,5	27,9	28,2	28,7	30,1	30,4	31,0	29,6	30,8	1,07	15,7
432	25,7	25,2	25,6	25,2	25,6	25,7	25,8	26,3	27,8	28,1	28,6	29,0	30,3	1,27	18
792	25,9	25,4	25,8	25,4	25,8	26,0	25,0	25,6	25,9	26,1	26,7	27,2	29,2	1,24	32,4

BW : largeur de bande

Pour un brouillage causé par des signaux MRF-MF à des signaux numériques avec des largeurs de bande beaucoup plus étroites que celle du signal brouilleur, on a :

$$\begin{aligned} C/I &= C/P_k = (C/P_{av}) (P_{av}/P_k) \\ &= (C/I)_{den} (1/k_p) \end{aligned}$$

où k_p est le rapport valeur de crête/valeur moyenne du signal brouilleur dans la bande occupée B_o . P_k et P_{av} sont respectivement les densités spectrales de crête et moyennes du signal brouilleur et sont données par :

- P_k : puissance dans la plus mauvaise bande de 4 kHz/4 kHz (W/Hz)
- P_{av} : puissance de porteuse totale/bande occupée, B_o (W/Hz).

TABLEAU 3
Rapports densité de crête/densité moyenne pour des porteuses MRF-MF INTELSAT

Nombre de canaux	Largeur de bande occupée, B_o (MHz)	C/P_k (dB/4 kHz)	P_k/P_{av} (dB)
12	1,1	20,0	4,95
24	2,0	22,3	4,69
60	2,2	22,4	5,10
60	4,0	25,3	4,70
132	4,4	24,2	6,21
132	6,75	27,5	4,77
132	7,5	28,0	4,73
252	8,5	27,0	6,26
252	12,4	30,0	4,91
432	13,0	27,6	7,52
432	15,7	30,8	5,15
432	18,0	31,5	5,03
792	32,4	34,1	4,98

$$\frac{P_k}{P_{av}} = \frac{P_k}{C} \frac{C}{P_{av}} = \frac{P_k}{C} \frac{B_o}{4 \text{ kHz}}, \text{ ou}$$

$$\frac{P_k}{P_{av}} = 10 \log (B_o/4000) - 10 \log (C/P_k) \quad (\text{dB})$$

NOTE 1 – Les signaux qui ont un rapport $P_k/P_{av} \leq 5,0$ sont utilisables sans coordination.

Toutefois, dans le cas d'un brouillage causé par un signal TV-MF, même avec dispersion d'énergie, il est peu probable que des porteuses à bande étroite puissent être situées dans le même canal que le signal TV-MF, étant donné qu'en pareil cas (pour une dispersion d'énergie de ± 1 MHz, par exemple) la puissance spectrale dans la bande de dispersion est très élevée.

On peut éviter d'avoir à assurer toute coordination avec les signaux de TV en utilisant des fréquences porteuses de TV préalablement spécifiées. Avec une largeur de bande de dispersion d'énergie de 2 MHz, par exemple, les porteuses SCPC ou d'autres porteuses à bande étroite peuvent être placées à l'extérieur de la bande de dispersion d'énergie de TV. Ce concept de «microsegmentation» est traité dans la Recommandation UIT-R S.742.

2.2 Proposition de modification des paramètres des systèmes du SFS dans le Plan adopté par la CAMR ORB-88

Les indications qui précèdent appellent un complément d'information en ce qui concerne l'utilisation des paramètres généralisés A , B , C et D dans le Plan relatif au service fixe par satellite (SFS) adopté par la CAMR ORB-88.

Tous les paramètres généralisés sont fonction d'un angle de décalage par rapport à l'axe principal, φ pour les stations terriennes et ψ pour les stations spatiales. Les angles φ et ψ peuvent présenter des valeurs à partir de zéro. Les paramètres généralisés B et D ont trait à la sensibilité du système vis-à-vis de brouillages (plus les valeurs de ces paramètres sont élevées, plus la sensibilité est grande) mais ne déterminent pas directement la puissance de rayonnement admissible du signal brouilleur si le rapport admissible porteuse/brouillage C/I n'est pas indiqué. Dans le Plan relatif au SFS, les valeurs de A , B , C et D se rapportent à chaque système individuel, alors que la valeur $(C/I)_n = 26$ dB, adoptée à des fins de planification, se rapporte au brouillage global. A partir des équations données au § 2.1, on obtient ainsi:

$$\sum p.i.r.e.ie(\varphi_i) = [B (C/I)_{p \ell \Sigma \uparrow}]^{-1}$$

où:

$p.i.r.e.ie(\varphi_i)$: puissance isotrope rayonnée équivalente du signal brouilleur dans la direction du satellite du système utile. La sommation s'effectue pour tous les systèmes brouilleurs, les stations terriennes étant supposées se trouver aux points de mesure les plus défavorables de leurs zones de service respectives (c'est-à-dire ceux à partir desquels elles causent le plus de brouillage)

B : paramètre généralisé pour le système utile
= $B(\psi)$

$(C/I)_{p \ell \Sigma \uparrow}$: rapport porteuse/brouillage global prévu dans le Plan, à l'entrée de la station spatiale

$$\sum p.i.r.e.is(\varphi_i) = [D (C/I)_{p \ell \Sigma \downarrow}]^{-1}$$

où:

$p.i.r.e.is(\varphi_i)$: puissance isotrope rayonnée équivalente du signal émis par la station spatiale du système brouilleur en direction de la station terrienne du système utile située au point de mesure le plus défavorable de la zone de service du système utile (le point pour lequel $(C/I)_{p \ell \Sigma \downarrow}$ est minimum); la sommation s'effectue pour toutes les stations spatiales qui brouillent le système utile concerné

$(C/I)_{p \ell \Sigma \downarrow}$: rapport porteuse/brouillage global prévu dans le Plan, à l'entrée de la station terrienne.

Lorsqu'on évalue les modifications qui pourraient être apportées aux paramètres réels des systèmes du SFS servant à déterminer les paramètres généralisés A , B , C et D , il faut tenir compte non seulement des contraintes imposées par les paramètres généralisés, mais aussi des relations entre ces paramètres. C'est pourquoi la plupart des modifications s'avèrent inacceptables. Ainsi, réduire les paramètres A et C dans la zone du lobe principal du diagramme de rayonnement (c'est-à-dire réduire la p.i.r.e.) a pour effet d'accroître les valeurs de B et de D , ce qui diminue la protection du système vis-à-vis du bruit.

La condition $A \leq A_{p1}$ doit être respectée pour toutes les variations des paramètres réels. Par définition, la condition $C \leq C_{p1}$ doit aussi être respectée; toutefois, on peut supposer qu'il n'y aurait pas d'objection à inclure dans la liste un système pour lequel la condition $C \leq C_{p1}$ se vérifierait pour toutes les valeurs de ψ correspondant à une direction de faisceau en dehors des bords de la zone de service du système utile, à l'exception de $C > C_{p1}$ dans les limites de la zone de service. Cela peut se produire lorsqu'une combinaison de faisceaux étroits est utilisée à la place du faisceau unique de l'antenne d'une station spatiale défini dans le Plan. Dans des cas particuliers, cela peut permettre de couvrir seulement une partie du territoire de la zone de service notifiée aux fins de l'établissement du Plan. L'augmentation de C conduit à une diminution de B . La conjonction de ces deux facteurs permet de simplifier les stations terriennes du système.

Si $B > B_{p1}$ et que $D > D_{p1}$, le système n'est protégé que jusqu'au niveau prévu dans le Plan. Par conséquent, les signaux utilisés dans le système doivent permettre à celui-ci de fonctionner lorsque $C/I < (C/I)_{p1}$. L'augmentation de l'un de ces paramètres peut être compensée par la diminution de l'autre, conformément à la formule:

$$(C/I)_{\Sigma}^{-1} = (C/I)_{\uparrow}^{-1} + (C/I)_{\downarrow}^{-1}$$

Lorsque la condition $A \leq A_{p1}$ est respectée, la puissance rayonnée par la station terrienne, p_1 , peut être réduite moyennant une augmentation correspondante du gain d'antenne de la station terrienne, g_1 , c'est-à-dire de la dimension du réflecteur d'antenne. Dans ces conditions, $g_1(\varphi)$ augmente dans la zone du faisceau principal du diagramme de rayonnement de l'antenne de la station terrienne, mais pas dans celle des lobes latéraux. Le brouillage causé aux stations spatiales d'autres systèmes ne sera ni modifié ni réduit. Le paramètre B ne sera pas affecté, ce qui signifie qu'il n'y aura pas de dégradation de la protection du système vis-à-vis du bruit sur la liaison montante. Si on utilise pour la réception la même antenne de la station terrienne, on verra s'accroître le gain à la réception g_4 et diminuer le paramètre D dans la zone des lobes latéraux mais la protection du système vis-à-vis du bruit en ce qui concerne les satellites brouilleurs situés dans le faisceau principal du diagramme de rayonnement restera inchangée. Appliquée à un système doté d'une zone de service relativement vaste, une telle modification des paramètres p_1 , g_1 et g_4 rend les systèmes plus uniformes et présente habituellement un avantage du point de vue économique.

Une augmentation de g_1 , g_4 est utile dans les cas où la valeur de B et de D doit être réduite en dehors du faisceau principal.

On peut obtenir le même effet en réduisant $g_2(\psi)$ et $g_4(\varphi)$ dans la zone des lobes latéraux au moyen d'une antenne de conception plus élaborée. La nécessité d'améliorer les valeurs de B et de D peut apparaître au moment de transformer un allotissement en assignation. En effet, les valeurs obtenues pour ces paramètres (même si elles correspondent aux valeurs prévues B_{p1} et D_{p1}) sont insuffisantes pour fournir le rapport $(C/I)_{\Sigma}$ nécessaire à l'application des méthodes de transmission des signaux utilisées dans le système.

Une modification semblable des paramètres réels p_3 (réduction) et g_3 (augmentation, c'est-à-dire augmentation des dimensions de l'antenne d'émission de la station spatiale) se traduit également par une diminution de la puissance rayonnée (C) hors du faisceau principal; cette diminution est obtenue par une réduction non seulement de p_3 , mais aussi de $g_3(\psi)$. Toutefois, une telle modification est limitée par la réduction de la zone de service.

3 Méthode fondée sur l'utilisation de la discrimination

L'Annexe 4 à la Recommandation UIT-R S.740 présente deux méthodes de discrimination, la discrimination dite classique et la discrimination de liaison. Le processus décrit ci-dessous correspond à la discrimination de liaison, bien qu'il soit également applicable à la méthode de discrimination classique.

Les positions orbitales pour les nouveaux satellites sont déterminées au moyen de la séquence d'optimisation suivante:

Phase 1

Il faut établir les matrices de discrimination de liaison disponible pour toutes les combinaisons possibles de nouveaux réseaux et pour toutes les combinaisons possibles de réseaux existants et de nouveaux réseaux. La Fig. 1 représente schématiquement un exemple de matrice de discrimination de liaison correspondant au brouillage causé par le réseau J au réseau I. La valeur la plus faible de tous les éléments de cette matrice implique la discrimination de liaison disponible minimale $ALI_{min}(I, J)$ pour le brouillage exercé par le réseau J sur le réseau I. De la même manière, on peut calculer la discrimination de liaison minimale $ALI_{min}(J, I)$ du réseau I vers le réseau J.

Phase 2

Le calcul de la discrimination disponible minimale entre les réseaux existants et en projet se fait selon la procédure susmentionnée en utilisant les positions orbitales préférées soumises par les administrations pour les nouveaux réseaux.

Phase 3

L'agencement optimal des nouveaux réseaux est lié à l'utilisation du modèle évolutionnel. Dans ce dernier, le meilleur agencement pour tous les nouveaux réseaux dans l'arrangement donné des réseaux existants est déterminé à partir d'un ordre présumé de lancement des nouveaux réseaux et d'un critère donné de discrimination de liaison qui s'ajoute à la discrimination de liaison requise pour une grande proportion de combinaisons de porteuses.

Phase 4

Pour l'agencement de satellite ainsi déterminé, un ajustement fin des positions des nouveaux réseaux est effectué, de telle sorte que la discrimination disponible minimale du réseau le plus affecté soit maximisée à partir de la fonction d'objectif suivante:

$$h(\varphi) = \max_{\varphi} \left\{ \min_{I, J} [ALI_{min}(I, J)] \right\} \quad (1)$$

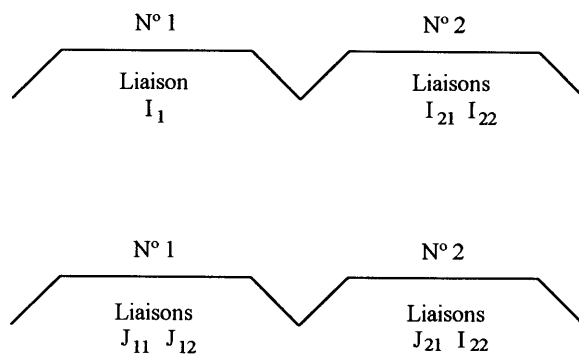
dans laquelle:

I, J «font partie de» tous les réseaux existants et nouveaux.

FIGURE 1a
Matrice de discrimination de liaison

		Numéro de répéteurs du réseau souhaité I	
		N° 1	N° 2
Numéro de répéteurs du réseau souhaité J	N° 1	Discrimination de liaison pour $J_{11} \rightarrow I_1$ $J_{11} \rightarrow I_1$	Discrimination de liaison pour $J_{11} \rightarrow I_{21}$ $J_{12} \rightarrow I_{21}$ $J_{11} \rightarrow I_{22}$ $J_{12} \rightarrow I_{22}$
	N° 2	-	Discrimination de liaison pour $J_{21} \rightarrow I_{21}$ $J_{22} \rightarrow I_{21}$ $J_{21} \rightarrow I_{22}$ $J_{22} \rightarrow I_{22}$

FIGURE 1b
Connexions de liaison considérées



4 Méthode fondée sur l'utilisation de la valeur normalisée de $\Delta T/T$

Dans cette méthode, on utilise la valeur normalisée de $\Delta T/T$ disponible pour chaque type de porteuse classé conformément à l'Annexe 1 à la Recommandation UIT-R S.739. Le processus d'optimisation se déroule comme suit:

Phase 1

Identification des cas possibles de brouillage.

Phase 2

Dans le cas où des couples de réseaux sont déployés dans une configuration de brouillage potentiel, on compare les diagrammes de rayonnement des antennes et les zones de service des satellites pour déterminer les gains croisés (gain d'une antenne de satellite dans la direction d'une station terrienne de l'autre réseau) pour les emplacements de station terrienne les plus défavorables.

Phase 3

Détermination des accroissements relatifs de la température de bruit pour chaque couple de réseaux dans une situation de brouillage potentiel.

Phase 4

Détermination des espacements requis entre satellites par comparaison des accroissements relatifs de la température de bruit, calculés au cours de la phase 3 avec les accroissements acceptables maximaux définis au Tableau 3 du Rapport 454 (Annexe au Volume IV de l'ex-CCIR, Düsseldorf, 1990), compte tenu d'une diminution de $25 \log \phi$ dans les lobes latéraux de l'antenne de la station terrienne:

$$\phi_{ij} \text{ requis} = \bar{\phi}_{ij} \left[\frac{(\Delta T/T)_c}{(\Delta T/T)_n} \right]^{0,4} \quad (2)$$

où:

$\phi_{ij} \text{ requis}$: espacement requis entre les deux satellites considérés

$\bar{\phi}_{ij}$: espacement utilisé au cours des calculs de la phase 3 (nouveaux satellites situés au point milieu de leur arc de service)

$(\Delta T/T)_c$: accroissement relatif de la température, calculé au cours de la phase 3

$(\Delta T/T)_n$: valeur maximale acceptable de l'accroissement relatif de la température pour les porteuses considérées

Dans le cas d'un couple de satellites, l'espacement requis est la valeur maximale obtenue par application de la formule (2) à tous les couples de porteuses qui pourraient se trouver dans une configuration de brouillage.

Phase 5

Détermination de la position orbitale des nouveaux satellites afin de maximaliser le rapport entre l'espacement orbital disponible et l'espacement requis pour la population de satellites. Le processus d'optimisation équivaut à minimaliser l'excédent relatif de brouillage dans le réseau le plus affecté, exprimé par le rapport entre la valeur $(\Delta T/T)_c$ normalisée/disponible et la valeur requise $(\Delta T/T)_n$.

De ce fait, la fonction d'objectif est:

$$\min \left[\max \left\{ (\Delta T/T)_c / (\Delta T/T)_n \right\} \right] \quad (3)$$

5 Méthode basée sur l'utilisation de l'espacement orbital caractéristique

On peut appliquer un processus consistant à choisir une position orbitale provisoire pour de nouveaux réseaux à satellites puis à apporter à ces positions des modifications mineures. Ceci permet de réduire les problèmes de chronologie entre les différentes étapes. Lorsque la coordination complète du réseau s'étend sur une période de cinq ans, et que la construction de la station spatiale prend à peu près le même temps, l'ensemble du processus peut se dérouler en trois phases, comme suit:

Phase 1

Choix initial provisoire d'une position orbitale.

Sous-phase 1.1

Choisir un arc à l'intérieur duquel le nouveau satellite ou le satellite de remplacement pourra faire l'objet d'une coordination, puis être exploité. Cet arc doit être assez grand pour qu'une solution très vraisemblable puisse être trouvée, mais pas plus qu'il n'est nécessaire car la complexité du problème s'accroît en même temps que le nombre de satellites qui se trouvent sur l'arc considéré.

Sous-phase 1.2

Calculer les paramètres généralisés ϕ_{ii} pour chacun des réseaux existants sur l'arc considéré et pour le nouveau réseau. Calculer aussi les paramètres ϕ_{ij} relatifs à l'interaction entre le réseau i et le réseau j (ϕ_{ij} se définit comme l'espacement entre les réseaux i et j , nécessaire pour protéger le réseau i contre le réseau j dans une mesure spécifiée).

Sous-phase 1.3

Utiliser la matrice $[\phi_{ij}]$ de la sous-phase 1.2 pour trouver un agencement orbital entre les réseaux considérés, de manière à permettre l'adjonction de nouveaux réseaux sur l'arc considéré. Si l'on ne trouve pas de position, l'arc considéré doit être agrandi et/ou les paramètres utilisés pour déterminer la matrice $[\phi_{ij}]$, rendus plus contraignants, après quoi la sous-phase 1.3 est répétée.

Phase 2

Coordination détaillée des réseaux situés aux positions orbitales choisies au cours de la phase 1: la coordination détaillée, en application de l'Article 11 du Règlement des radiocommunications, est effectuée au cours de cette phase. Cela comprend la coordination du trafic et la détermination de son introduction selon les besoins, des contraintes étant imposées selon le cas aux caractéristiques d'antenne et aux emplacements des stations terriennes, etc.

Phase 3

Cette phase n'est pas nécessaire si la phase 2 peut être menée à son terme avec succès. En revanche, si cela n'est pas possible, la phase 1 est reprise, les éléments ϕ_{ij} étant réduits pour permettre de trouver un agencement orbital dans lequel la phase 2 peut être menée à son terme avec succès.

6 Méthode fondée sur le principe de l'homogénéité des réseaux

Deux réseaux du SFS mutuellement affectés sont réputés non homogènes lorsque le premier nécessite une meilleure protection contre le brouillage causé par le second que ce dernier n'en a besoin contre le brouillage provoqué par le premier. En conséquence, lors de la coordination de deux réseaux de ce type, il faut adopter la plus grande valeur de séparation angulaire entre les satellites pour protéger le premier réseau, ce qui diminue l'efficacité d'utilisation de l'orbite géostationnaire. Par contre, des réseaux homogènes nécessitent une même valeur de protection contre les brouillages mutuels et, partant, les mêmes valeurs de séparation angulaire entre leurs satellites bien que les valeurs admissibles nécessaires du rapport porteuse/brouillage puissent être fréquemment différentes.

Il est bien évident que des réseaux homogènes conformes à cette définition utilisent l'orbite géostationnaire avec plus d'efficacité que des réseaux non homogènes.

En rendant homogènes des réseaux du SFS par la modification des paramètres techniques de l'un d'entre eux (réseau nouveau) ou, dans les cas exceptionnels, de chaque réseau, on met en œuvre un moyen efficace pour l'optimisation des positions orbitales des satellites.

Il faut tout d'abord identifier les porteuses qui limitent, dans les deux réseaux, les angles de séparation des satellites dans les deux sens. Ces porteuses sont utilisées dans les calculs décrits ci-après. Après avoir effectué les ajustements pour obtenir l'égalité des angles de séparation, il faut s'assurer que le brouillage causé à d'autres porteuses des deux réseaux est acceptable.

Considérons le brouillage mutuel entre deux réseaux du SFS, un réseau existant (réseau 1) et un réseau nouveau pour lequel la coordination est entreprise (réseau 2).

Le rapport brouillage/porteuse dans le réseau 1 est donné par:

$$(I/C) = \frac{p'_1 g'_1(\varphi_{1-2}) g_2(\psi) \ell_1}{p_1 g_1 g_2 \ell'_1} + \frac{p'_3 g'_3(\psi') g_4(\varphi_{1-2}) \ell_2}{p_3 g_3 g_4 \ell'_2} \quad (4)$$

et le rapport brouillage/porteuse dans le réseau 2, par:

$$(I/C)' = \frac{p_1 g_1(\varphi_{2-1}) g'_2(\psi') \ell'_1}{p'_1 g'_1 g'_2 \ell_1} + \frac{p_3 g_3(\psi) g'_4(\varphi_{2-1}) \ell'_2}{p'_3 g'_3 g'_4 \ell_2} \quad (5)$$

où:

- p_1, p'_1 : puissances d'émission à l'entrée des antennes des stations terriennes
- g_1, g'_1 : gains des antennes d'émission des stations terriennes
- g_2, g'_2 : gains des antennes de réception des stations spatiales à la limite de la zone de service
- g_3, g'_3 : gains des antennes d'émission des stations spatiales à la limite de la zone de service
- p_3, p'_3 : puissances d'émission des stations spatiales à l'entrée des antennes d'émission
- g_4, g'_4 : gains des antennes de réception des stations terriennes
- ℓ_1, ℓ'_1 : affaiblissements des porteuses sur la liaison Terre-espace
- ℓ_2, ℓ'_2 : affaiblissements des porteuses sur la liaison espace-Terre
- ψ, ψ' : angles formés par les directions stations spatiales-stations terriennes de chaque réseau et les stations terriennes les plus proches de l'autre réseau (brouilleur)
- $\varphi_{1-2}, \varphi_{2-1}$: séparations angulaires entre satellites nécessaires à l'obtention de valeurs spécifiées des rapports brouillage/porteuse I/C et $(I/C)'$ respectifs.

On considère que les paramètres du réseau 1 sont connus et qu'ils ne sont pas modifiés au cours du processus d'optimisation.

Pour optimiser la position du satellite du réseau 2 sur l'orbite, ce réseau doit être rendu homogène avec le réseau 1. On y parvient en établissant la condition d'homogénéité dans les équations (4) et (5), c'est-à-dire:

$$\varphi_{1-2} = \varphi_{2-1} = \varphi \quad (6)$$

et en choisissant pour les paramètres du réseau 2 des valeurs qui satisfont les équations (4), (5) et (6) pour des valeurs données de I/C , $(I/C)'$, N/C .

Dans les cas où l'on doit tenir compte du brouillage mutuel entre un nouveau réseau et plusieurs réseaux existants, on peut faire plusieurs essais pour modifier les caractéristiques techniques du nouveau réseau afin de le rendre homogène avec chacun des réseaux existants, après quoi on choisit des valeurs de compromis pour ces caractéristiques.

7 Moyens informatiques

Les deux approches décrites aux § 3 et 4 peuvent être utilisées lorsqu'un grand nombre de réseaux est en cause et qu'il faut faire intervenir des algorithmes d'optimisation itératifs. Ces travaux doivent être exécutés en faisant appel à des moyens informatiques.

Deux logiciels ont été élaborés à cet effet et permettent d'exécuter pleinement les processus d'optimisation décrits aux § 3 et 4. L'un utilise la méthode de la discrimination de liaison et l'autre la méthode fondée sur l'utilisation de la valeur normalisée de $\Delta T/T$.

ANNEXE 2

Algorithmes de gestion de l'orbite

1 Algorithmes de gestion de l'orbite

La réalisation de moyens informatiques, permettant de faciliter la conception des systèmes, la coordination et l'évaluation des brouillages, a été entreprise et l'on dispose déjà de certains résultats. La présente Annexe fournit des renseignements concernant trois programmes de ce type; deux portent sur la gestion de l'espacement orbital (programmes A et B), le 3^e sur l'optimisation des assignations de fréquence (programme C).

2 Programme A (ORBIT-II)

Le programme de minimalisation de l'espacement orbital, appelé «ORBIT-II» est capable, dans sa version actuelle, de déterminer, pour un maximum de 200 satellites, une disposition orbitale efficace et d'optimiser la forme des faisceaux des antennes de satellite (circulaire ou elliptique). L'incidence des assignations de fréquence est prise en compte dans le processus d'optimisation.

Les applications du programme comprennent:

- la détermination d'emplacements orbitaux de remplacement dans le cadre de la coordination bilatérale ou multilatérale;
- la détermination des intervalles critiques entre les fréquences dans le cadre de la coordination bilatérale ou multilatérale;
- l'identification des systèmes influant sur la mise en place de nouveaux systèmes.

Le programme ORBIT-II a servi à la mise au point des Plans d'allotissement 13/11 GHz et 6/4 GHz pour le SFS lors de la CAMR ORB-88, après avoir été adapté par l'ex-IFRB pendant la période d'études 1986-1988 en vue d'être utilisé dans un environnement de conférence sur l'ordinateur de l'UIT. La base du Plan d'allotissement adopté par la CAMR ORB-88 a été synthétisée sur l'ordinateur de l'UIT à l'aide du programme ORBIT-II. Cette synthèse n'a pas nécessité

d'intervention humaine autre que pour la sélection de l'ordre de prise en considération des éléments du Plan. Toutefois, également, étant donné :

- que le Plan n'a été établi que pour la bande 6/4 GHz et que l'évaluation a été faite après coup pour la bande 13/11 GHz;
- la nature et l'ampleur des besoins à incorporer dans le Plan; et
- les caractéristiques de l'algorithme utilisé dans le programme ORBIT-II,

la mise au point d'un Plan acceptable lors de la Conférence a exigé l'apport d'un nombre important de modifications manuelles au Plan de base initialement synthétisé par le programme ORBIT-II. Les parties préprocesseur et analyse du Plan du programme ORBIT-II ont été largement utilisées pour ces améliorations «manuelles» du Plan.

En raison des caractéristiques («arc prédéterminé») du Plan d'allotissement adopté par la CAMR ORB-88, il sera peut-être nécessaire ultérieurement d'adapter le Plan pour prendre en compte une assignation conforme au Plan en une position orbitale autre que sa position orbitale nominale. Etant donné qu'une adaptation manuelle du Plan de base à l'aide du programme ORBIT-II s'est révélée nécessaire lors de la synthèse du Plan approuvé par la Conférence, on peut légitimement supposer que le Plan devra faire l'objet d'une adaptation du même ordre pour prendre en compte une assignation correspondant à une nouvelle position dans les limites de son arc prédéterminé ou pour tenir compte de modifications des paramètres techniques du système qui diffèrent de ceux figurant dans le Plan. C'est la raison pour laquelle il semble opportun :

- de comprendre comment le programme ORBIT-II est utilisé dans un mode d'exploitation avec synthèse manuelle pour modifier un Plan existant;
- de rechercher des moyens de renforcer l'efficacité du processus de planification manuelle par l'automatisation informatique, si besoin est, ou par une automatisation partielle dudit processus;
- d'envisager à plus long terme la possibilité de mettre au point un algorithme de synthèse amélioré entièrement automatique.

Pour l'essentiel, le processus de synthèse du programme ORBIT-II comportait les trois étapes suivantes :

- création d'une matrice d'espacement sur l'orbite $[\phi_{ij}]$ qui spécifie, pour chaque paire de satellites et les paramètres techniques du Plan provisoire, l'espacement entre le satellite i et le satellite j de manière à obtenir le brouillage de source unique nécessaire occasionné par le satellite j au satellite i ;
- mise en place de chacun des N satellites du Plan sur l'OSG, à raison d'un à la fois dans un programme à un passage, de manière que les niveaux de chacune des sources individuelles de brouillage du Plan soient atteints, c'est-à-dire que chacun des espacements effectifs ϕ_{ij} soit au moins aussi grand que les valeurs; (ce processus à un passage permet de classer dans un certain ordre les N satellites sur l'OSG; la contribution du planificateur dans ce processus consiste à spécifier l'ordre dans lequel les N satellites sont pris en considération);
- ajustement de la position des satellites sur l'OSG, sans modification de l'ordre dans lequel les N satellites sont placés, de manière à maximiser le rapport global porteuse/brouillage des satellites.

Le processus de planification manuelle utilisé à la CAMR ORB-88 a consisté à étudier la matrice $[\phi_{ij}]$ pour déterminer de nouvelles dispositions des satellites, c'est-à-dire pour trouver de nouvelles solutions optimales localement. En déplaçant certains satellites pour leur attribuer des positions entièrement nouvelles, on a pu déterminer la nouvelle disposition des satellites sur l'OSG permettant d'obtenir un rapport global porteuse/brouillage minimal encore plus grand.

L'apport d'améliorations initiales au progiciel ORBIT-II pourrait fournir au planificateur des moyens informatiques lui permettant de réduire ou d'éliminer les tâches de vérification manuelle associées au processus de planification manuelle, et d'accélérer le programme d'analyse du Plan utilisé par lui comme outils de synthèse. Un tel progiciel «ORBIT-II amélioré» hypothétique pourrait présenter les caractéristiques suivantes:

- la possibilité pour le planificateur d'accéder à la matrice d'espacement orbital $N \times N$ [φ_{ij}] dans un mode d'exploitation interactif. Le planificateur serait à même de demander, par l'intermédiaire d'un terminal intelligent, la valeur de φ_{ij} pour une paire ij donnée, ou de petites sous-matrices [φ_{ij}] d'une dizaine de réseaux aspirant à utiliser un petit arc donné;
- une possibilité d'analyser un petit arc donné, d'environ 20° à 40° de large, plutôt que l'arc complet de 360° . Cela augmenterait considérablement la vitesse d'exécution du programme en cas d'utilisation de celui-ci comme outil de synthèse, le temps de traitement étant approximativement proportionnel au carré du nombre d'éléments du Plan pris en considération;
- un programme permettant de faire une recherche complète des $n!$ plans possibles que le planificateur envisage pour une position donnée de l'arc, pour un petit nombre n de l'ordre de 6 à 8; et
- un programme permettant la visualisation graphique de la zone de service elliptique minimale des administrations.

De tels programmes, utilisés conjointement avec le programme d'analyse ORBIT-II actuellement disponible, rendraient les planificateurs mieux à même d'adapter le Plan.

Il convient de noter que certains de ces programmes sont déjà utilisables dans le programme ORBIT-II dont on dispose actuellement. Il convient donc de les utiliser effectivement pour augmenter les possibilités du programme ORBIT-II.

A plus long terme, il sera peut-être possible et souhaitable d'améliorer l'algorithme de disposition du programme ORBIT-II. Un tel programme de synthèse de la deuxième génération devrait être fondé sur une compréhension complète des algorithmes utilisés dans la pratique par les planificateurs de l'orbite.

3 Programme B (VAS-H)

Le programme VAS-H a été mis au point afin d'optimiser le positionnement des satellites sur l'orbite, en fonction de certaines contraintes concernant:

- l'arc de service des satellites;
- les conditions régissant le fonctionnement conjoint éventuel des réseaux à satellites, déterminées par l'espacement angulaire minimal des satellites sur orbite.

Le processus d'optimisation comporte les étapes suivantes:

- détermination des combinaisons admissibles de positions de satellites sur orbite, compte tenu de la condition:

$$\alpha_{min\ i} \geq \alpha_{max\ i} + 1$$

où:

$\alpha_{max\ i} + 1$: limite supérieure de variation de la position du $(i + 1)^e$ satellite

$\alpha_{min\ i}$: limite inférieure de variation de la position du i^e satellite

i : numéro d'ordre de la position du satellite, dans une combinaison donnée

- détermination de la matrice des espacements angulaires nécessaires entre les satellites produisant un certain niveau de brouillage (suivant le critère choisi) entre les réseaux;
- recherche de l'emplacement optimal des satellites sur l'arc minimum pour une combinaison donnée de positions. Choix de l'arc minimum pour l'ensemble des dispositions orbitales envisagées.

Mis au point sur IBM PC/AT, le programme VAS-H résout le problème de l'optimisation dans différentes conditions:

- contraintes de limites de repositionnement des différents satellites;
- possibilité pour tous les satellites de changer de position à l'intérieur de leur arc de service;
- recomposition automatique de toutes les combinaisons envisageables de contraintes de repositionnement des satellites.

Ce programme réalise l'étude opérationnelle de petits segments orbitaux particuliers (de quelques dizaines de degrés) et optimise le positionnement de huit satellites au plus, en fonction de contraintes déterminées quant aux limites de positionnement et quant aux niveaux de brouillage mutuel des réseaux. Le positionnement optimal défini par le programme ne dépend pas de la disposition initiale des satellites.

Le programme VAS-H est utilisable pour l'évaluation des caractéristiques des réseaux à satellites dont la mise en place est prévue, pour l'établissement *a priori* de plans d'utilisation de l'orbite/du spectre des fréquences, à l'occasion des réunions multilatérales sur la coordination des systèmes à satellites et dans le cadre des processus bilatéraux de coordination.

La méthode d'optimisation décrite ci-dessus permet de réduire au minimum la longueur de l'arc d'orbite sur lequel se trouvent N satellites, en fonction de contraintes données:

- de limites de repositionnement des satellites à l'intérieur de l'arc de service;
- de conditions d'exploitation conjointe des systèmes à satellites concernés.

La méthode proposée est applicable à l'évaluation des caractéristiques des réseaux à satellites dont la mise en place est prévue, pour l'établissement *a priori* de plans d'utilisation de l'orbite/du spectre des fréquences, à l'occasion des réunions multilatérales sur la coordination des réseaux à satellites et dans le cadre des processus bilatéraux de coordination.

En ce qui concerne l'étude des questions liées à l'utilisation efficace de l'OSG, la méthode suggérée peut servir à évaluer la capacité potentielle de l'orbite, à optimiser les paramètres du réseau, etc.

4 Programme C (CAP-N)

Un programme (CAP-N) a été mis au point afin d'optimiser le processus des assignations de fréquence pour la coordination des systèmes. Ce programme est à même de traiter jusqu'à 8 réseaux à satellites afin de réduire le plus possible le cas de brouillage à source unique le plus défavorable entre ces réseaux.

Ce programme a pour objet:

- de faciliter une coordination préliminaire pour les assignations de fréquence porteuse dans le cadre de la mise en œuvre d'un nouveau système;
- de coordonner et d'optimiser les assignations entre plusieurs réseaux par rapport à d'autres réseaux existants;
- d'optimiser les assignations de fréquence porteuse pendant la coordination multilatérale.

Bien que le CAP-N vise à optimiser les assignations de fréquence entre les satellites, il peut également être utilisé pour optimiser les assignations de fréquence à l'intérieur du système pour des réseaux utilisant la réutilisation des fréquences.

L'utilisation conjuguée des programmes ORBIT-II et CAP-N peut faciliter la coordination tant bilatérale que multilatérale et améliorer l'utilisation de l'OSG. Compte tenu de l'expansion rapide des systèmes nationaux à satellites dans les segments de l'OSG, il est nécessaire de réexaminer les bases techniques applicables au positionnement des satellites. Un espacement minimal sur l'orbite doit être déterminé en fonction du brouillage entre systèmes, lequel dépend essentiellement du choix de certains paramètres de système, comme la puissance d'émission, la sensibilité du récepteur et la directivité de l'antenne. D'autres facteurs, comme le type de modulation, la disposition des canaux, le type de filtrage et les niveaux de qualité acceptables et de brouillage sont également importants. Une méthode a été mise au point qui tient compte de ces facteurs; elle évalue la possibilité de réduire l'espacement entre les satellites pour les réseaux assurant la même couverture. Les résultats de cette évaluation, aussi bien pour les brouillages à source unique que pour le brouillage global, indiquent qu'il est possible d'atteindre l'objectif de l'UIT-R en matière de brouillage pour les réseaux assurant la même couverture avec un espacement des satellites inférieur à 4° si l'on utilise l'une des solutions ci-après:

- les satellites sont mis en place avec entrelacement de polarisations;
 - on améliore les normes en ce qui concerne les lobes latéraux de station terrienne;
 - coordination des fréquences entre satellites voisins plus détaillée.
-