

## RAPPORT 951 \*

### PARTAGE ENTRE LE SERVICE INTER-SATELLITES ET LE SERVICE DE RADIODIFFUSION PAR SATELLITE AU VOISINAGE DE 23 GHz

(Question 1/10 et 11)

(1982)

#### 1. Introduction

La CAMR-79 a attribué la bande 22,5 à 23 GHz au service de radiodiffusion par satellite (SRS) en Régions 2 et 3; une partie de cette bande – la portion comprise entre 22,55 et 23,0 GHz – est utilisée en partage avec, entre autre, le service inter-satellites (SIS).

Basé sur des études menées aux Etats-Unis et au Japon, ce Rapport décrit une étude paramétrique de l'espacement orbital nécessaire entre des stations spatiales utilisant des liaisons inter-satellites et des satellites de radiodiffusion, du point de vue des brouillages introduits sur la liaison inter-satellites, [CCIR, 1978-82a et b] et des brouillages causés au récepteur du SRS [CCIR, 1978-82c].

Ces études utilisent de nouvelles caractéristiques des systèmes tirées d'un exemple qui figure dans le Rapport 215 et correspond à un système de télévision à haute définition utilisant une largeur de bande radiofréquences de 125 MHz. Or, un exemple de télévision de type classique est aussi donné dans le Rapport 215. Les études présentées dans le présent Rapport peuvent également s'appliquer à ce cas. Des calculs préliminaires faits aux Etats-Unis d'Amérique montrent que le cas d'un système de télévision à haute définition présenté ici serait le plus prudent.

On trouvera aux § 2.1 et 3.1 les hypothèses admises pour le SIS dans les deux études. Les valeurs figurant dans les deux paragraphes diffèrent car la définition du SIS est encore à un stade initial. Un complément d'étude s'impose.

---

\* Ce Rapport doit être porté à l'attention de la Commission d'études 4.

## 2. Brouillage causé au service inter-satellites par des émissions du service de radiodiffusion par satellite

### 2.1 Caractéristiques du service inter-satellites

Dans la bande des 23 GHz, on prévoit que la plupart des liaisons inter-satellites occuperont des portions relativement petites d'arc orbital, par exemple  $4^\circ$ ; voir à ce sujet l'analyse présentée dans le Rapport 451.

On admet que l'équipement de réception d'une liaison inter-satellites se compose d'une antenne d'un gain de 52 dB, dont le faisceau circulaire a une ouverture à  $-3$  dB de  $0,4^\circ$ , reliée à un récepteur dont la température de bruit est de 1000 K. La discrimination assurée par l'antenne en dehors de son axe est conforme aux données du Rapport 558. La largeur de bande du récepteur est de 850 MHz.

### 2.2 Caractéristiques du service de radiodiffusion par satellite

Le Tableau XIVa du Rapport 215 donne un exemple de caractéristiques d'un système de télévision par satellite pour réception communautaire fonctionnant sur la fréquence 22,75 GHz. On a admis dans cette analyse une largeur de bande RF de 125 MHz pour les émissions de télévision MF à haute définition et une p.i.r.e. d'environ 78 dBW dans l'axe du faisceau. On a également admis que l'ouverture du faisceau de l'antenne d'émission du satellite est de  $1^\circ$ , car c'est la valeur qui peut, dans la pratique, correspondre au cas de brouillage le plus défavorable du récepteur SIS. Le gain de l'antenne est de 44 dB et les pertes dans les lignes d'alimentation et les filtres sont de 1 dB, ce qui exige une puissance radioélectrique de 2,5 kW (34 dBW) pour l'alimentation de l'antenne.

### 2.3 Etude de brouillage

La géométrie du brouillage est représentée à la Fig. 1. SIS 2 (satellite du service inter-satellites) émet en direction de SIS 1, l'espacement angulaire géocentrique des deux satellites étant de  $\theta_2$  degrés de longitude. SRS (satellite du service de radiodiffusion par satellite) situé à  $\theta_1$  degrés de longitude de SIS 1, émet en direction d'une zone de service située à l'équateur, le centre du faisceau se trouvant à  $\gamma_0$  degrés du nadir.

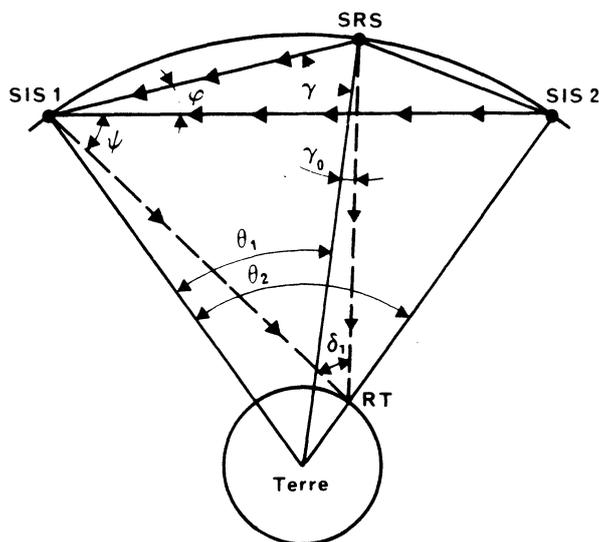


FIGURE 1 — Géométrie de brouillage

RT: récepteur du service de radiodiffusion par satellite

$\delta_1$ : espacement angulaire entre les satellites SIS 1 et SRS vu du récepteur RT

$\psi$ : espacement angulaire entre le satellite SIS 2 et le récepteur RT vu du satellite SIS 1.

Le brouillage causé par l'antenne de réception de SIS 1 se produit sous un angle de  $\varphi$  degrés par rapport à l'axe du faisceau principal. De même, la p.i.r.e. émise par SRS en direction de SIS 1 se produit sous un angle de  $\gamma + \gamma_0$  degrés par rapport à l'axe du faisceau principal.

Si les satellites SIS et SRS sont espacés de moins de  $134^\circ$  sur l'orbite, l'antenne d'émission du satellite SRS aura un gain isotrope dans la direction du satellite SIS, quelle que soit la direction de pointage de l'antenne SRS ( $\gamma_0$ ).

Une étude du rapport brouillage/bruit ( $I/N$ ) au récepteur du satellite SIS 1 conduit à la relation

$$I/N = R_0 \frac{p_3}{T_1 B_1 f^2}$$

dans laquelle

$$R_0 = \frac{c^2}{(4\pi)^2 k} \frac{G_1 D_1(\varphi)}{x^2}$$

Les notations étant les suivantes:

- $p_3$ : puissance fournie à l'antenne d'émission du satellite SRS (W)
- $T_1$ : température de bruit du récepteur du satellite SIS (K)
- $B_1$ : largeur de bande de bruit de ce récepteur (Hz)
- $f$ : fréquence (Hz)
- $c$ : vitesse de la lumière (m/s)
- $k$ : constante de Boltzmann (J/K)
- $G_1$ : gain de l'antenne du satellite SIS 1 dans la direction de son axe
- $D_1(\varphi)$ : discrimination de l'antenne de SIS 1 dans la direction de SRS
- $x$ : distance entre les satellites SRS et SIS 1.

$R_0$  fait intervenir des constantes et trois termes qui dépendent de l'ouverture à demi-puissance de l'antenne du satellite SIS ainsi que de la séparation angulaire entre les satellites SRS et SIS 1. Pour des valeurs données de ces termes, on a calculé les valeurs de  $R_0$  et on les a représentées sur la Fig. 2.

On admet que, pour que le fonctionnement soit satisfaisant, le rapport  $I/N$  doit être au plus égal à une certaine valeur  $(I/N)_0$ . La condition de partage s'exprime donc par:

$$I/N = R_0 \frac{p_3}{T_1 B_1 f^2} \leq (I/N)_0$$

soit encore

$$R_0 \leq (I/N)_0 \frac{T_1 B_1 f^2}{p_3}$$

En décibels, cela s'écrit:

$$10 \log R_0 \leq 10 \log (I/N)_0 + 10 \log T_1 + 10 \log B_1 + 20 \log f - 10 \log p_3$$

Cette inégalité, associée aux courbes de la Fig. 2 ainsi qu'aux caractéristiques connues des satellites du SIS et du SRS, permet d'évaluer les possibilités de brouillage.

#### 2.4 Résultats

Les caractéristiques des satellites du service de radiodiffusion par satellite et du service inter-satellites dont il a été question ci-dessus ont les valeurs suivantes:

- $T_1 = 1000$  K
- $B_1 = 125$  MHz (voir ci-dessous)
- $f = 22,75$  GHz
- $p_3 = 2500$  W

On admet que la largeur de bande du satellite du SIS est supérieure à 125 MHz et qu'il y a des risques de brouillage par des satellites du SRS dans toute cette largeur de bande. Le calcul est donc fondé sur l'hypothèse d'un brouilleur par 125 MHz de largeur de bande. On admet que le rapport  $(I/N)_0$  pour lequel le brouillage est négligeable a pour valeur 0,1.

On trouve alors la condition:

$$R_0 \leq 274 \quad \text{dB}$$

Cette valeur est représentée sur la Fig. 2.

Trois cas sont examinés sur la Fig. 2. On a pris les espacements entre satellites du SIS égaux à  $4^\circ$ , à  $10^\circ$  et à  $20^\circ$ .

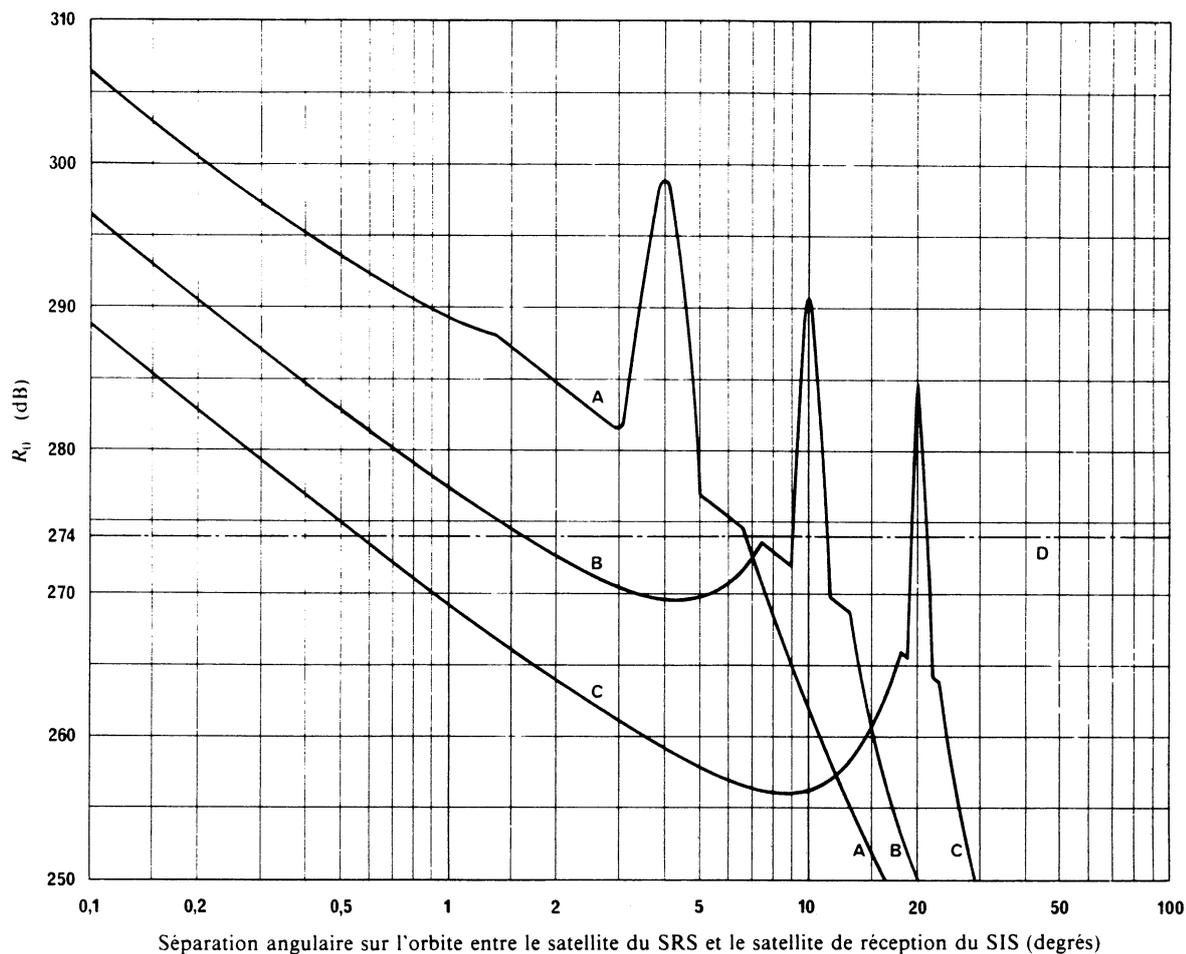


FIGURE 2 — Valeur de  $R_0$  en fonction de la séparation entre les satellites du SRS et du SIS, le gain de l'antenne du satellite SIS étant de 52 dB

Courbes A: séparation entre satellites SIS =  $4^\circ$

B: séparation entre satellites SIS =  $10^\circ$

C: séparation entre satellites SIS =  $20^\circ$

D: région de brouillage négligeable (en-dessous de la ligne marquée D)

$R_0$ : défini dans la formule du § 2.3.

Si la séparation géocentrique entre SIS 1 et SIS 2 est égale à  $4^\circ$ , il est impossible de placer un satellite du SRS à moins d'environ  $7^\circ$  pour obtenir une valeur raisonnable de  $I/N$  inférieure à  $-10$  dB.

Si l'on porte la séparation géocentrique entre SIS 1 et SIS 2 à  $10^\circ$ , on peut placer entre eux un satellite du SRS et un seul, tout en obtenant un rapport  $I/N$  inférieur à  $-10$  dB. Une séparation comprise entre  $1,6^\circ$  et  $9^\circ$  est nécessaire.

Si l'on porte la séparation géocentrique entre SIS 1 et SIS 2 à  $20^\circ$ , on peut placer un certain nombre de satellites du SRS sur l'arc compris entre  $0,6^\circ$  et environ  $19^\circ$  tout en obtenant encore, avec une contribution du brouillage unique, un rapport  $I/N$  d'au plus  $-10$  dB.

La Fig. 3 illustre ce que l'on peut appeler l'«effet de déplacement» lors du processus évolutif de mise en place des liaisons du service inter-satellites. Supposons que l'angle  $\theta_1$  de la Fig. 3 (séparation entre SIS 1 et SIS 2) soit de  $4^\circ$ , que le satellite SIS 2 émette à destination du satellite SIS 1 et que, d'après la courbe A de la Fig. 2, l'angle  $\theta_2$  (séparation entre SRS et SIS 1) soit de  $7^\circ$ , si bien que le rapport  $I/N$  à l'entrée du récepteur de SIS 1 est au plus de  $-10$  dB. Quelque temps après, on ajoute une liaison du SIS, si bien que SIS 2 fait aussi des émissions à destination de SIS 3, comme indiqué à la Fig. 3. Pour une séparation de  $4^\circ$  entre SIS 2 et SIS 3, le rapport  $I/N$  au récepteur de SIS 3 sera d'environ 6 dB, ce qui, d'après la courbe A de la Fig. 2, fait varier  $R_0$  de 16 dB.



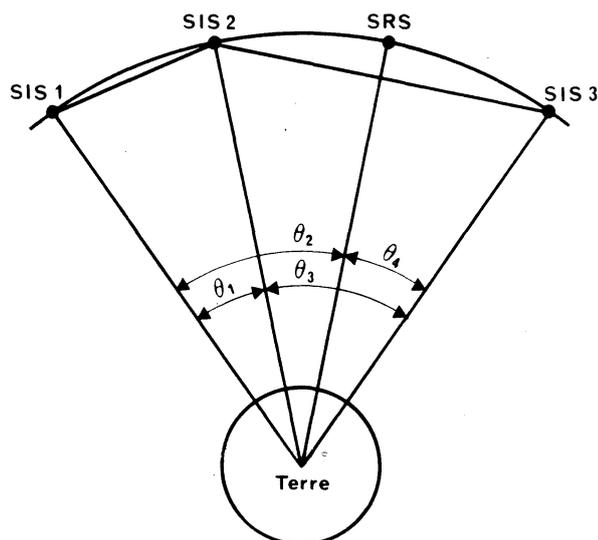


FIGURE 3 - Effet de déplacement

Une manière de réduire à une valeur au plus égale à  $-10$  dB le rapport  $I/N$  à l'entrée du récepteur de SIS 3 consiste à augmenter la séparation entre les satellites SIS 2 et SIS 3. En la portant à  $10^\circ$ , on ramène la valeur du rapport  $I/N$  à l'entrée du récepteur de SIS 3 à  $-12$  dB environ. D'après cette méthode, l'adjonction d'une deuxième liaison du SIS oblige à «déplacer» le satellite SIS 3 de la position correspondant à la séparation préférée ( $4^\circ$ ) à une position plus éloignée, correspondant à une séparation de  $10^\circ$ .

### 3. Brouillage causé au service de radiodiffusion par satellite par les émissions du service inter-satellites

#### 3.1 Caractéristiques du service inter-satellites (SIS)

On suppose que les liaisons inter-satellites sont de deux sortes: liaisons SIS à courte distance et liaisons SIS à longue distance, selon la description qui en est donnée dans le Rapport 451. On considère que pour les liaisons à courte distance, il existe deux types d'antenne de satellite: antennes avec système de poursuite et antennes sans système de poursuite. On suppose que les caractéristiques des systèmes des liaisons SIS à longue distance sont fondées sur les exemples donnés pour les liaisons à courte distance.

Dans l'analyse, on a admis que la p.i.r.e. maximale des stations du SIS est de 55 à 75 dBW environ, pour les liaisons à courte distance avec antennes de poursuite et de 78 à 80 dBW sans poursuite; pour les liaisons SIS à longue distance, la p.i.r.e. maximale est, par hypothèse, de 78 à 90 dBW avec des antennes de 1 m de diamètre et une largeur de bande de 100 MHz à fréquence radioélectrique. Le Tableau I donne les valeurs nécessaires de l'ouverture du faisceau d'antenne des satellites pour une liaison SIS courte, les antennes des satellites n'étant pas des antennes de poursuite et le Tableau II donne les valeurs requises de l'ouverture du faisceau d'antenne par rapport à l'erreur de pointage en fonction de l'espacement entre satellites (Tableau III, Annexe I au Rapport 451).

TABLEAU I - Valeurs nécessaires de l'ouverture du faisceau d'antenne des satellites pour une liaison SIS courte (les antennes des satellites ne sont pas des antennes de poursuite)

Espacement orbital des deux satellites (degrés)	2	3	4	6	10	15	20
Valeur nécessaire de l'ouverture du faisceau d'antenne (degrés)	12,98	8,47	6,33	4,25	2,64	1,85	1,46

TABLEAU II – Valeurs nécessaires de l'ouverture du faisceau d'antenne des satellites par rapport à l'erreur sur le pointage en fonction de l'espacement entre satellites

Espacement*	Erreur effective sur le pointage*	Valeur nécessaire de l'ouverture du faisceau d'antenne
2°	1,01°	2,02°
3°	0,833°	1,67°
4°	0,739°	1,48°
5°	0,693°	1,39°

\* (Tableau III, Annexe I au Rapport 451)

### 3.2 Caractéristiques du service de radiodiffusion par satellite (SRS)

On suppose que les caractéristiques du système de radiodiffusion par satellite, avec modulation analogique à large bande pouvant être utilisé, entre autres pour la télévision à haute définition qui figurent dans le Tableau XIVA du Rapport 215 peuvent être données en exemple pour un système de radiodiffusion par satellite. Le système de réception du SRS est supposé comprendre une antenne de 0,8 m de diamètre (ouverture du faisceau: 1,2°); la température de bruit est de 1100 K. La discrimination de l'antenne en dehors du lobe est conforme à la valeur qui en est donnée dans le Rapport 558. En l'absence d'autres données, on admet que le rapport porteuse/brouilleuse nécessaire pour la protection du SRS est de 40 dB.

### 3.3 Analyses du brouillage et résultats

La géométrie du brouillage est représentée à la Fig. 1. L'analyse porte sur trois cas. Les résultats figurent à la Fig. 4 pour le cas de brouillage le plus défavorable causé au récepteur terrien (RT) du SRS. On suppose que les liaisons SIS sont à courte distance avec poursuite (courbe A pour  $\theta_2 < 20^\circ$ ) et sans poursuite (courbe B), ainsi qu'à longue distance (courbe A pour  $\theta_2 > 60^\circ$ ).

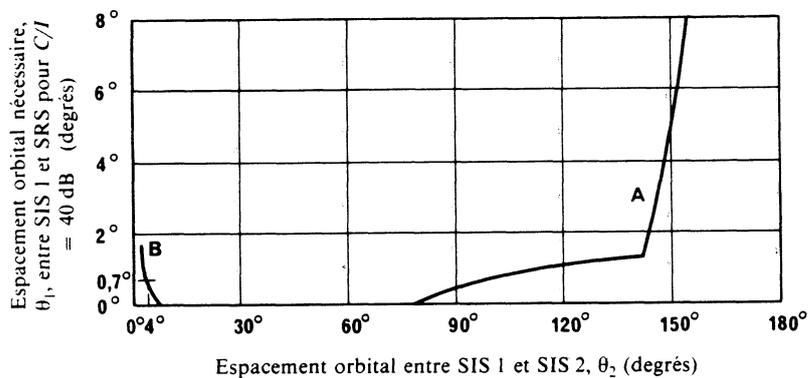
D'après les courbes on voit que les liaisons SIS à courte distance, avec poursuite, ne doivent pas causer de brouillage aux récepteurs du SRS. Toutefois, les liaisons SIS à courte distance avec poursuite peuvent causer des brouillages du récepteur du SRS, si  $\theta_2 < 6^\circ$ , environ, et  $\theta_1 = 0^\circ$ , ou si  $\theta_2 \approx 4^\circ$  et  $\theta_1 < 1^\circ$ , par exemple, lorsque l'ouverture du lobe de l'antenne du satellite SIS doit couvrir les déplacements des deux satellites avec une précision de maintien en position de  $\pm 0,1^\circ$  dans les directions nord-sud et est-ouest, et des erreurs d'orientation de  $\pm 0,15^\circ$ . Si les antennes des satellites SIS, sans poursuite, ont des erreurs de pointage telles que celles qui figurent dans le Tableau II, aucun brouillage ne doit être causé aux récepteurs du SRS. Pour ce qui est des liaisons SIS à longue distance, les valeurs les plus défavorables des rapports de protection peuvent devenir inférieures à 40 dB pour  $\theta_2 > 80^\circ$  et  $\theta_1 \approx 0^\circ$ .

## 4. Conclusions

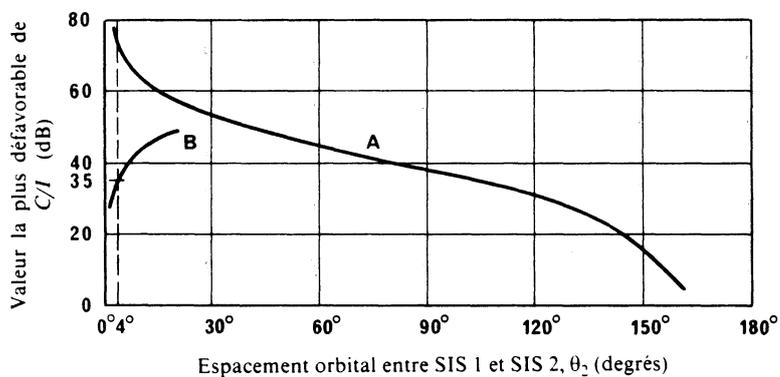
Compte tenu des hypothèses techniques admises pour cette étude, et qui pourraient prendre des valeurs différentes dans l'avenir, on peut formuler les conclusions suivantes:

- dans le cas d'une liaison inter-satellites à courte distance avec espacement orbital de 4° environ, on n'aura peut-être pas avantage à placer un SRS dans une position intermédiaire: il sera peut-être préférable de la placer en dehors de l'arc orbital occupé par les deux satellites SIS;
- lorsque l'espacement orbital entre deux satellites SIS est égal ou supérieur à 10°, il est possible d'intercaler un satellite de radiodiffusion entre ces deux satellites. Plus l'espacement des satellites SIS sera grand, plus l'arc orbital qu'ils définissent s'étendra et plus nombreux seront les satellites de radiodiffusion qui pourront y trouver place;
- pour ce qui est du brouillage susceptible d'être causé au récepteur SRS par une émission SIS, il se peut qu'aucun ne soit le fait de liaisons SIS à courte distance, avec antenne de poursuite: toutefois, le cas de brouillage le plus défavorable peut se présenter du fait de liaisons SIS à courte distance, sans antenne de poursuite, si l'espacement orbital entre deux satellites SIS est inférieur à 6° et presque nul entre deux satellites SRS et SIS. Si les satellites SIS ont des erreurs de pointage telles que celles qui figurent dans le Tableau II, il se peut alors qu'il ne se produise aucun brouillage.

Il y aura lieu de poursuivre l'étude pour déterminer l'intensité du brouillage pour des satellites de radiodiffusion et du SIS de caractéristiques différentes.



a)  $\theta_2$  en fonction de l'espacement orbital,  $\theta_1$ , entre SIS 1 et SRS, pour  $C/I = 40$  dB



b)  $\theta_2$  en fonction de  $C/I$ , pour  $\theta_1 = 0^\circ$

FIGURE 4 — Espacement orbital entre deux satellites SIS,  $\theta_2$ , et la valeur la plus défavorable du rapport de brouillage  $C/I$  au récepteur du SRS

Courbes A: SIS avec antennes de satellite équipées pour la poursuite

B: SIS avec antennes de satellite non équipées pour la poursuite

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Documents du CCIR

[1978-82]: a. 10-11S/26 (Etats-Unis d'Amérique); b. 10-11S/136 + Add. 1 (Etats-Unis d'Amérique); c. 10-11S/115 (Japon).