

RAPPORT 952-2*

**CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES LIAISONS
DE CONNEXION AUX SATELLITES DE RADIODIFFUSION****Eléments nécessaires pour l'établissement des plans d'assignation
de fréquences et de positions orbitales pour le
service de radiodiffusion par satellite et les liaisons
de connexion associées. Partage dans les bandes
attribuées aux liaisons de connexion**

(Question 1/10 et 11; Programmes d'études 1B/10 et 11 et 2J/10 et 11)

(1982-1986-1990)

1. Introduction

Le présent Rapport a pour objet les caractéristiques techniques et les contraintes d'exploitation des liaisons de connexion des satellites de radiodiffusion.

Le présent Rapport porte exclusivement sur les liaisons de connexion aux satellites fonctionnant dans la bande des plans établis pour les liaisons de connexion dans le domaine de la radiodiffusion par satellite à 12 GHz (voir le § 2), et l'on connaît très mal les problèmes liés aux liaisons de connexion des satellites de radiodiffusion fonctionnant à des fréquences autres que 12 GHz.

2. Attributions des bandes de fréquences

La CAMR-79 a examiné le problème des attributions des bandes de fréquences aux liaisons de connexion des satellites de radiodiffusion fonctionnant dans la bande des 12 GHz. Certaines bandes de fréquences ont été attribuées à cet effet au service fixe par satellite (Terre vers espace), mais elles ont été limitées aux liaisons de connexion des satellites de radiodiffusion. Il s'agit des bandes suivantes:

- 10,7 à 11,7 GHz : dans la Région 1 seulement, utilisée en partage avec le service fixe, le service fixe par satellite (espace vers Terre) et le service mobile (sauf aéronautique);
- 14,5 à 14,8 GHz : utilisée en partage avec les services fixe et mobile. Cette utilisation est réservée aux pays extérieurs à l'Europe et à Malte;
- 17,3 à 18,1 GHz : la moitié supérieure de cette bande est utilisée en partage par les services fixe et mobile et par le service fixe par satellite (espace vers Terre).

La CAMR ORB-85 a choisi les bandes de fréquences 17,3-18,1 et 14,5-14,8 GHz (pour les pays extérieurs à l'Europe et pour Malte) pour la planification des assignations aux liaisons de connexion dans les Régions 1 et 3. La Conférence a décidé de ne pas utiliser la bande de fréquences 10,7-11,7 GHz dans le Plan d'assignation aux liaisons de connexion.

Un Plan pour les liaisons de connexion vers les satellites de radiodiffusion de la Région 2 a été établi pour la bande 17,3-17,8 GHz à la CARR SAT-83.

Un plan des liaisons de connexion aux satellites de radiodiffusion des Régions 1 et 3 a été établi à la CAMR ORB(88) dans les bandes 14,5 - 14,8 GHz et 17,3 - 18,1 GHz. La bande 14,5 - 14,8 GHz a été utilisée par certains pays non européens.

* Ce Rapport doit être porté à l'attention des Commissions d'études 4 et 9.

3. Conception et caractéristiques techniques du système

3.1 Généralités

Une liaison de connexion à des satellites de radiodiffusion comprend les éléments suivants:

- la station terrienne d'émission décrite par les caractéristiques de rayonnement de l'antenne et par la puissance d'émission;
- la liaison entre la station terrienne et le satellite, surtout définie par les conditions de propagation dans l'atmosphère;
- l'antenne de réception du satellite, avec une caractéristique de rayonnement donnée, ainsi que le récepteur du satellite, avec une sensibilité donnée (facteur de bruit).

Les caractéristiques de ces éléments et les contraintes correspondantes sont examinées aux § 5 à 9, les autres considérations générales relatives au système étant récapitulées ci-après.

Dans certains cas, les satellites de radiodiffusion auront une seule station terrienne de liaison de connexion primaire pour chaque groupe de liaisons descendantes dans une même zone de service. Dans d'autres cas, il peut être souhaitable de prévoir l'implantation de stations terriennes de liaison de connexion en un point quelconque d'une zone de service d'une liaison de connexion prédéterminée. Ces liaisons de connexion seront normalement desservies par une station terrienne primaire avec une antenne relativement grande et une puissance d'émission élevée. Cette spécificité quant à la «station terrienne primaire» n'a pas été prise en considération dans la planification des liaisons de connexion dans la Région 2. De petites stations terriennes fixes ou transportables assurant une connexion directe vers un satellite expérimental ont déjà été utilisées [CCIR, 1978-82a] et on peut prévoir que leur nombre augmentera à mesure que se développera la radiodiffusion par satellite.

En admettant que les objectifs de qualité de service de ces petites stations terriennes puissent être moins élevés que ceux des stations primaires, leur utilisation devra être prise en compte le plus largement possible.

Les liaisons de connexion peuvent affecter la planification du service de radiodiffusion par satellite, et cela pour plusieurs raisons:

- le bruit et le brouillage présents sur la liaison de connexion seront retransmis sur la liaison descendante et peuvent constituer une part non négligeable du bruit et du brouillage totaux sur la liaison descendante; dans ce contexte, il peut être souhaitable de planifier les assignations de canaux pour la liaison de connexion et la liaison descendante en même temps, de manière à obtenir les rapports de protection pour une qualité de service désirée. On peut le faire de deux manières en planifiant successivement ou simultanément les liaisons de connexion et les liaisons descendantes (voir le Rapport 633);
- il peut être nécessaire de coordonner la liaison de connexion avec les systèmes à satellites fonctionnant dans la bande de fréquences des liaisons de connexion, d'où peuvent résulter des restrictions supplémentaires quant aux positions orbitales des satellites de radiodiffusion;
- il peut être nécessaire de coordonner les liaisons de connexion avec des systèmes de Terre;
- les zones de service des liaisons de connexion et des liaisons descendantes peuvent ne pas coïncider dans certains cas. Par exemple, une administration dont le territoire s'étend sur plusieurs zones horaires peut juger souhaitable de desservir chaque zone horaire à partir d'un emplacement orbital différent pour obtenir une meilleure protection contre les éclipses et pouvoir en même temps accéder à chaque satellite à partir d'un point quelconque de son territoire sous l'angle de site adéquat.
- il peut être souhaitable que des liaisons de connexion, au départ de petites stations terriennes fixes ou transportables, opèrent en grands nombres à partir d'un point quelconque de la zone de service ou, dans certains cas, même en dehors de la zone de service.

Il y a intérêt à étudier la possibilité de réduire la largeur de bande totale nécessaire pour les liaisons de connexion, en mettant à profit la directivité plus prononcée des antennes d'émission des stations terriennes, en ayant recours à la discrimination de polarisation et en utilisant des méthodes de modulation plus efficaces. Cependant, les petites stations terriennes fixes ou transportables ont une directivité limitée.

Pour obtenir le maximum de souplesse dans le positionnement des satellites de radiodiffusion directe, il pourrait être nécessaire que les liaisons de connexion aient une largeur de bande totale égale ou supérieure à celle des liaisons descendantes. Par conséquent, étant donné que la largeur de bande est limitée, il se peut que la souplesse maximale soit irréalisable.

Au cours de la période pendant laquelle les satellites de radiodiffusion seront introduits, la viabilité du service de radiodiffusion par satellite sera sans doute particulièrement vulnérable aux montants des coûts. Toute méthode visant à comprimer la largeur de bande de la liaison de connexion ou à utiliser économiquement l'orbite ne doit donc pas entraîner de coûts tels que la rentabilité du service de radiodiffusion par satellite ne soit pas assurée. Les coûts doivent être acceptables, ce qui constitue une autre contrainte. Les techniques de réduction de la largeur de bande indiquées dans le Rapport 561 doivent être envisagées sous cet angle.

3.2 Répartition du bruit entre les liaisons de connexion et les liaisons descendantes

La CAMR-RS-77, a adopté aux fins de la planification une réduction maximale de 0,5 dB du rapport porteuse à bruit total pour représenter la contribution de la liaison de connexion à ce rapport pendant 99% du mois le plus défavorable. Cela correspond à une différence d'environ 10 dB (voir le Rapport 215) entre les rapports porteuse à bruit des liaisons descendante et de connexion.

Selon une étude de l'UER [CCIR, 1978-82b], la contribution du bruit dû à la liaison de connexion peut être rendue négligeable en adoptant une marge relativement faible sur le rapport porteuse à bruit de la liaison descendante. Cette étude a été faite dans l'hypothèse de l'emploi d'une commande automatique de gain à bord du satellite et a été basée sur une analyse statistique des affaiblissements sur les liaisons de connexion et descendante. La probabilité d'avoir un rapport porteuse à bruit total inférieur à une certaine valeur s'exprime par une formule générale donnée dans le doc. [CCIR, 1978-82b].

Des applications numériques représentatives des mesures faites en Europe ont été effectuées en supposant que les affaiblissements (en dB) suivent une loi log-normale. On constate tout d'abord que les résultats obtenus avec les hypothèses de corrélation totale ou d'indépendance entre les affaiblissements sur les liaisons de connexion et descendante sont à peu près identiques. Par contre, l'influence d'une marge de 0,5 dB sur la liaison descendante est déterminante. L'amélioration due à cette marge est meilleure que celle obtenue en dimensionnant le C/N de la liaison de connexion pendant 99,9% du mois le plus défavorable au lieu de 99%. C'est ainsi que, si l'on se fixe un C/N pour la liaison descendante de 14 dB pendant 99% du mois le plus défavorable, la contribution de bruit de la liaison de connexion a pour effet de faire tomber le C/N de la liaison totale au-dessous de 14 dB dans 50% ou dans 10% de cas de plus (selon que la liaison de connexion est dimensionnée pour obtenir un rapport C/N de 24 dB pendant 99% ou 99,9% du mois le plus défavorable). Si l'on tient compte d'une marge de 0,5 dB sur la liaison descendante, le pourcentage de temps pendant lequel le C/N total tombe en dessous de 14 dB, y compris la contribution de bruit de la liaison de connexion, reste inférieur à la valeur spécifiée de 1% du mois le plus défavorable dans les deux cas.

Ce résultat confirme le bien-fondé du choix de la CAMR-RS-77 de tenir compte de l'effet de la liaison de connexion au moyen d'une telle marge, même à des fréquences de 18 GHz.

Des études semblables ont été faites au Canada sur les effets de l'affaiblissement dû à la pluie et les caractéristiques de répéteurs de satellite du point de vue de la répartition des contributions de bruit sur les liaisons de connexion et descendante de radiodiffusion par satellite [CCIR, 1978-82c].

Quelques résultats sont illustrés à la Fig. 1, pour les mêmes hypothèses que l'étude susmentionnée. Les courbes de la figure donnent la dégradation du C/N de la liaison descendante due au bruit apporté par la liaison de connexion, $(C/N_d - C/N_t)$ en fonction de la différence entre les rapports C/N sur les liaisons de connexion et descendante, $(C/N_u - C/N_d)$. On y illustre les cas de corrélation ou d'indépendance totale entre les affaiblissements sur les deux liaisons. Toutes les valeurs C/N sont relatives à 99% du mois le plus défavorable.

La répartition du bruit n'a pas besoin d'être spécifiée comme élément de planification pour la Région 2, étant donné que la valeur globale du rapport porteuse/bruit est le critère applicable lorsqu'on planifie simultanément des liaisons de connexion et des liaisons descendantes. Cependant, il est nécessaire de faire certaines hypothèses quant à la répartition du bruit pour déterminer les caractéristiques de la liaison de connexion, par exemple la p.i.r.e. nécessaire pour répondre aux spécifications du service de radiodiffusion par satellite.

Pour faciliter l'élaboration du Plan pour la Région 2 et les Régions 1 et 3, il a été admis que la contribution de bruit de la liaison de connexion au bilan de bruit de la liaison totale n'excéderait pas 0,5 dB pendant 99% du mois le plus défavorable.

3.3 Rapport porteuse/bruit des liaisons de connexion

En admettant qu'il n'y ait pas de réduction de puissance à la sortie du répéteur, une contribution de bruit de 0,5 dB pour la liaison de connexion à l'ensemble de la liaison exige que:

$$(C/N)_u = (C/N)_d + 10 \quad \text{dB} \quad (1)$$

soit dépassé pendant 99% du mois le plus défavorable. Par atmosphère claire, on aura alors:

$$(C/N)_u = (C/N)_d + 10 + L_{At} \quad \text{dB} \quad (2)$$

où:

$(C/N)_u$: rapport porteuse/bruit de la liaison de connexion

$(C/N)_d$: rapport porteuse/bruit de la liaison descendante

L_{At} : affaiblissement par la pluie sur la liaison de connexion, dépassé pendant 1% du mois le plus défavorable.

Par ailleurs, une marge de 1 dB est nécessaire aux fins de planification pour tenir compte d'éventuelles erreurs de pointage de l'antenne d'émission de la station terrienne.

En outre, l'amplificateur non linéaire de puissance du répéteur introduit, compte tenu de son facteur de conversion MA/MP, une dégradation par le bruit thermique dans le signal démodulé. La dégradation causée par le phénomène MA/MP au signal démodulé en fréquence est donnée par l'expression:

$$D = \frac{\alpha + I}{1 + I} \quad (3)$$

où:

D : diminution du rapport signal/bruit après démodulation dû à l'accroissement du bruit après démodulation en présence de conversion MA/MP (voir la Fig. 2).

$$I = (C/N)_u / (C/N)_d$$

$$\alpha = 1 + \left(\frac{K}{6,6}\right)^2 \quad (\text{pour la modulation de fréquence}).$$

K : est le facteur de conversion MA/MP. K est de l'ordre de 5 à 6 degrés/dB en l'état actuel de la technologie des amplificateurs. Cela donne pour α une valeur de l'ordre de 2,0 à 2,6 dB qui a été démontrée théoriquement et expérimentalement [CCIR, 1982-86a].

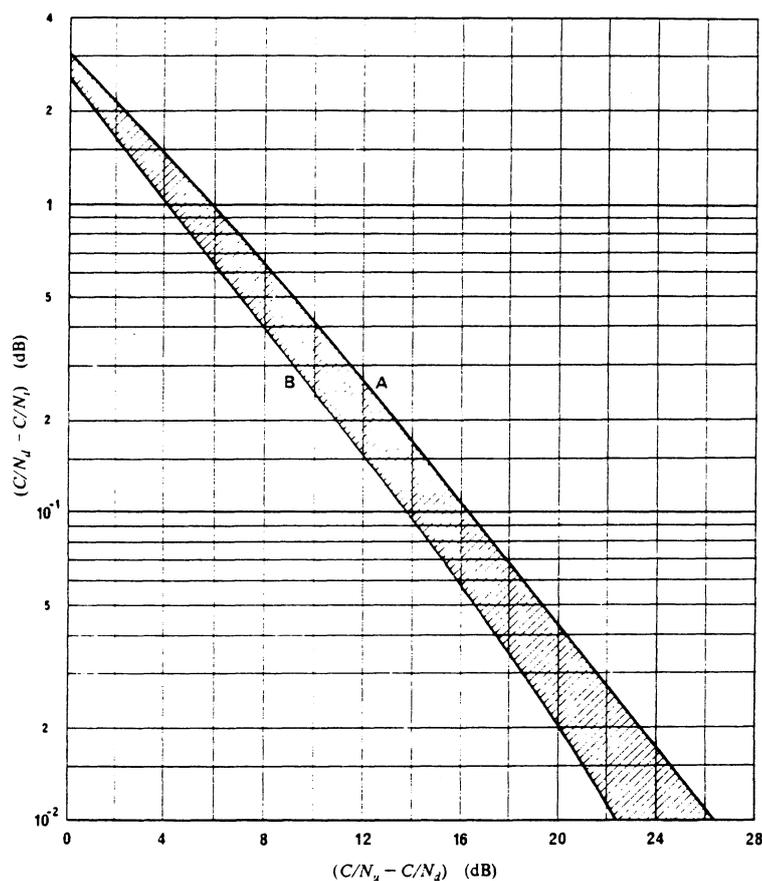


FIGURE 1 - Contribution de bruit de la liaison de connexion

A: avec corrélation
 B: sans corrélation



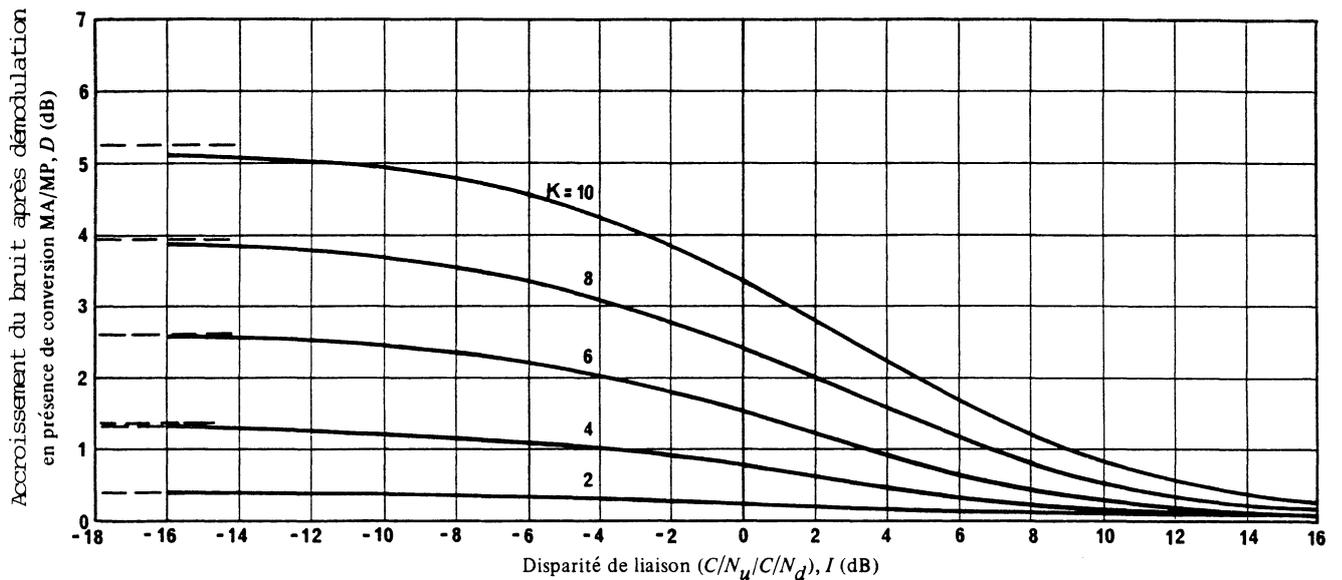


FIGURE 2 – Dégradation du signal après démodulation causée par la conversion MA/MP

K : facteur de conversion MA/MP (degrés/dB)

--- : I \rightarrow $-\infty$ dB

La dégradation causée par la conversion MA/MP ne peut pas être observée au moyen de mesures directes du C/N radiofréquence. Toutefois, cette dégradation peut être mesurée par d'autres moyens. Elle doit être prise en compte lors du calcul des bilans des liaisons de connexion et peut être compensée par une augmentation du C/N_u de $10 \log \alpha$ (dB). La conversion MA/MP n'a pas été prise en compte dans l'établissement du Plan de la Région 2.

Dans un plan fondé sur des caractéristiques homogènes de stations de liaisons de connexion qui, par voie de conséquence, donnent des puissances surfaciques nominales (atmosphère claire) homogènes à l'emplacement des satellites, le C/N_u varie en fonction du gain de l'antenne de réception du satellite. Dans la Région 2, les valeurs intéressantes du gain de l'antenne de réception du satellite, à la limite de la zone de couverture à -3 dB, varient d'environ 28 dB pour un faisceau de liaisons de connexion de $3^\circ \times 8^\circ$ couvrant tout un pays à 46 dB pour un petit faisceau étroit de $0,6^\circ$. Avec une température de bruit du système ramenée à l'entrée du satellite de 1500 K, qu'il est facile d'obtenir pour des récepteurs de satellite fonctionnant dans la bande des 18 GHz, les valeurs intéressantes du rapport G/T varient de -4 dB(K $^{-1}$) à 14 dB(K $^{-1}$) à la limite de la zone de couverture. La puissance de la liaison de connexion dans l'antenne d'émission peut être choisie dans une gamme allant de 500 à 1000 W. Le Plan de liaison de connexion de la Région 2 est basé sur une puissance radiofréquence maximale de 1000 W fournie à l'entrée de l'antenne de la liaison de connexion. Le Tableau I donne une gamme des valeurs du rapport C/N_u à 17,5 GHz, en supposant un rendement d'antenne de 65%, une largeur de bande de filtre de 24 MHz et une perte de gain de 1 dB due à l'erreur de pointage de l'antenne de la station terrienne pour une puissance émise de 500 et 1000 W. Dans la Région 2, le Plan est basé sur un diamètre d'antenne de 5 m, mais des antennes plus grandes et/ou plus petites peuvent être utilisées.

Par exemple, pour un rapport C/N_d de 14,5 dB sur la liaison descendante et une erreur éventuelle de pointage de 1 dB de l'antenne de l'émetteur de la station terrienne, la contribution de bruit de la liaison de connexion au bruit total des canaux de communications serait supérieure à 0,5 dB dans un très petit nombre de cas qui sont en italique dans le Tableau I. Dans les Régions 1 et 3, le Plan est basé sur l'emploi d'antennes ayant respectivement des diamètres de 5 m pour la bande de 17 GHz et de 6 m pour celle de 14 GHz avec dans les deux cas, des émetteurs d'une puissance de 500 W. Ces valeurs correspondent respectivement à des p.i.r.e. de 84 et de 82 dBW, avec comme objectif de dépasser un rapport C/N de 24 dB pendant 99% du mois le plus défavorable.

TABLEAU I – Valeurs du rapport porteuse/bruit calculées pour une antenne de station terrienne présentant une erreur de pointage de 1 dB et émettant une puissance de 500 ou 1000 W (Région 2) (1)

Diamètre de l'antenne de la station terrienne (m)	Rapport G/T minimal de l'antenne de réception du satellite (limite de la zone de couverture) (dB(K ⁻¹))	Rapport porteuse/bruit, C/N_u (dB)					
		Atmosphère claire	Affaiblissement par la pluie de 5 dB		Affaiblissement par la pluie de 10 dB		
			Puissance émise (W)				
		500	1000	500	1000	500	1000
2,5	- 4	19,2	22,2	14,2	17,2	9,2	12,2
	+ 2	25,2	28,2	20,2	23,2	15,2	18,2
	+ 8	31,2	34,2	26,2	29,2	21,2	24,2
	+ 14	37,2	40,2	32,2	35,2	27,2	30,2
5	- 4	25,2	28,2	20,2	23,2	15,2	18,2
	+ 2	31,2	34,2	26,2	29,2	21,2	24,2
	+ 8	37,2	40,2	32,2	35,2	27,2	30,2
	+ 14	43,2	46,2	38,2	41,2	33,2	36,2
8	- 4	29,3	32,3	24,3	27,3	19,3	22,3
	+ 2	35,3	38,3	30,3	33,3	25,3	28,3
	+ 8	41,3	44,3	36,3	39,3	31,3	34,3
	+ 14	47,3	50,3	42,3	45,3	37,3	40,3
11	- 4	32,1	35,1	27,1	30,1	22,1	25,1
	+ 2	38,1	41,1	33,1	36,1	28,1	31,1
	+ 8	44,1	47,1	39,1	42,1	34,1	37,1
	+ 14	50,1	53,1	45,1	48,1	40,1	43,1

Note 1 - Dans le cas du plan des liaisons de connexion pour les Régions 1 et 3, les valeurs du Tableau I sont à réduire de 0,5 dB avec une bande passante de référence de 27 MHz.

3.4 Influence de l'atmosphère

3.4.1 Affaiblissement par la pluie

Le signal de la liaison de connexion subit des atténuations lorsqu'il traverse l'atmosphère. Ces effets sont de nature statistique et ils dépendent fortement de la fréquence utilisée pour la liaison de connexion et de l'emplacement de la station terrienne de cette liaison.

L'affaiblissement par la pluie aura pour résultat des valeurs réduites pour le C/N et le C/I sur les liaisons de connexion. De plus, le C/N sur la liaison descendante diminuera, à moins d'utiliser la commande automatique de gain sur le satellite pour maintenir le répéteur du satellite à saturation ou à peu près.

Le modèle de propagation pour les liaisons de connexion des Régions 1 et 3 utilisant des signaux en polarisation circulaire est basé sur la valeur de l'affaiblissement par la pluie pendant 1 % du mois le plus défavorable.

La CAMR-ORB(88) a adopté la méthode suivante pour calculer l'affaiblissement par la pluie.

L'altitude moyenne h_F de l'isotherme 0° est :

$$h_F = 5.1 - 2.15 \log \left[1 + 10 \frac{(|\zeta| - 27)}{25} \right] \quad (\text{km})$$

où ζ est la latitude de la station terrienne (en degrés).

La hauteur de la pluie h_R est donnée par:

$$h_R = C \cdot h_F$$

où $C = 0.6$ pour $0^\circ \leq |\zeta| < 20^\circ$

$C = 0.6 + 0.02 (|\zeta| - 20)$ pour $20^\circ \leq |\zeta| < 40^\circ$

$C = 1$ pour $|\zeta| \geq 40^\circ$

La longueur du trajet oblique en dessous de la hauteur de la pluie est :

$$L_s = \frac{2(h_R - h_o)}{\left[\sin^2 \theta + 2 \frac{(h_R - h_o)^{1/2}}{R_e} \right] + \sin \theta} \quad (\text{km})$$

où h_o = l'altitude de la station terrienne (km)

θ = l'angle de site (degrés)

R_e = le rayon effectif de la Terre (c'est-à-dire 8.500 km)

La projection horizontale L_G du trajet oblique est donnée par :

$$L_G = L_s \cos \theta \quad (\text{km})$$

Le facteur $r_{0.01}$ de réduction du trajet dans la pluie pendant 0.01 % du temps est :

$$r_{0.01} = \frac{90}{90 + 4 L_G}$$

L'affaiblissement spécifique γ_R est déterminé par la formule suivante :

$$\gamma_R = k (R_{0,01})^\alpha \quad (\text{dB/km})$$

où $R_{0,01}$ est donné au Tableau II pour chaque zone climatique de pluie. Les coefficients k et α qui dépendent de la fréquence sont donnés au Tableau III. Les zones climatiques de pluie sont données dans le Rapport 563.

Tableau II : Intensité des chutes de pluie $R_{0,01}$ pour les zones climatiques de pluie (valeurs dépassées pendant 0,01% d'une année moyenne)

Zone climatique de pluie	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P
Intensité de chutes de pluie $R_{0,01}$ (mm/h)	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145

Tableau III : Coefficients dépendant de la fréquence

Fréquence* (GHz)	k	α	
14,65	0,0327	1,149	Pour les Régions 1 et 3
17,5	0,0521	1,114	Pour la Région 2
17,7	0,0531	1,110	Pour les Régions 1 et 3

* Fréquences moyennes dans les bandes des liaisons de connexion.

L'affaiblissement par la pluie dépassé pendant 1 % du mois le plus défavorable est donné par :

$$A_{1\%} = 0,223 \gamma_R L_s r_{0,01} \quad (\text{dB}) \quad \text{pour les Régions 1 et 3}$$

$$A_{1\%} = 0,21 \gamma_R L_s r_{0,01} \quad (\text{dB}) \quad \text{pour la Région 2.}$$

On utilise dans les calculs de régulation de puissance décrits au paragraphe 5.4.4. l'affaiblissement par la pluie pendant 0,1 % du mois le plus défavorable. Il se calcule comme suit :

$$A_{0,1\%} = 3,3 A_{1\%}$$

3.4.2 Dépolarisation

La pluie et la glace peuvent dépolariser les signaux et réduire par conséquent le C/I , dans des satellites occupant la même position et des satellites adjacents. Lorsque de la glace est présente sur le trajet de transmission, et surtout s'il s'agit de glace fondante, elle a un effet de dépolarisation particulièrement prononcé (phénomène de la «bande brillante»), mais ce phénomène n'est pas accompagné d'un grand affaiblissement.

Selon le modèle du CCIR (Rapport 564), la dépolarisation par la pluie, XPD varie avec l'affaiblissement et l'angle de site comme le montre la Fig. 3 dans le cas de la polarisation circulaire. Pour toute valeur donnée, A_p , de l'affaiblissement, la valeur de XPD décroît lorsque l'angle de site diminue.

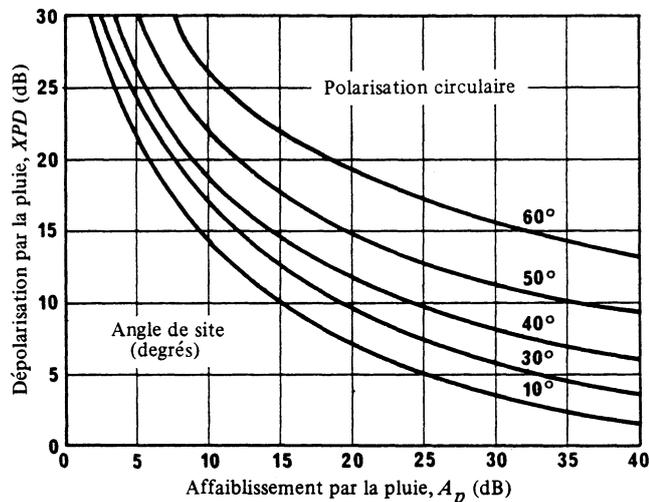


FIGURE 3 – Dépolarisation due à la pluie et affaiblissement prévu pour des signaux à polarisation circulaire (14 GHz)

La CAMR-ORB(88) a adopté la méthode suivante pour le calcul de la dépolarisation (XPD) non dépassée pendant 1 % du mois le plus défavorable :

$$XPD = 30 \log f - 40 \log (\cos \theta) - V \log A_p \text{ (dB) pour } 5^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$$

où $V = 20$ entre 14,5 et 14,8 GHz

et $V = 23$ entre 17,3 et 18,1 GHz

A_p est l'affaiblissement copolaire par la pluie dépassé pendant 1 % du mois le plus défavorable

f est la fréquence (GHz) et

θ l'angle de site (degrés).

Pour les valeurs de θ supérieures à 60° , on prendra $\theta = 60^\circ$ dans la relation qui précède.

3.4.3 Diffusion par la pluie

Le Doc. [CCIR, 1982-86b] donne une analyse de la diffusion par la pluie, mécanisme de brouillage à court terme qui peut avoir des effets importants à 17 GHz au point de vue partage entre les liaisons de connexion. Cette étude devrait être poursuivie, car on a fait plusieurs hypothèses simplificatrices et on a utilisé un modèle de diffusion par la pluie qui s'applique spécifiquement aux trajets de diffusion de Terre. L'analyse provisoire a conduit aux résultats suivants:

- le brouillage dû à la diffusion par la pluie ne devrait pas constituer un problème à 17 GHz mais, toutefois peut être très supérieur au brouillage qui s'exerce sur le trajet direct allant de la station terrienne (lobe latéral) jusqu'au satellite brouillé;
- le brouillage dû à cette diffusion est maximal, par rapport au brouillage sur le trajet direct allant de la station terrienne (lobe latéral) jusqu'au satellite brouillé, dans le cas de grands espacements angulaires entre le satellite brouillé et les satellites utiles;

- dans certains cas, le brouillage net en présence de pluie peut être supérieur à celui qui existe par atmosphère claire. Cependant, dans tous les cas de ce genre, le niveau de brouillage est négligeable;
- un complément d'étude est nécessaire pour déterminer l'intensité du brouillage dû à la diffusion par les précipitations aux alentours de l'isotherme 0°C, et au-dessus. En règle générale, les réflexions radar des ondes à 10 GHz sur la couche de fusion, à cette altitude, sont nettement plus fortes que les réflexions qui se produisent à des altitudes un peu plus basses.

3.5 Marge de propagation

La marge de propagation à 17 GHz, (L_{At} dans l'équation (2)) dépend surtout de la zone hydrométéorologique et de l'angle de site. Un affaiblissement par la pluie ne dépassant pas 10 dB est prévu pendant 1% du mois le plus défavorable dans de nombreuses zones hydrométéorologiques, moyennant peu ou pas de restrictions pour l'angle de site. Dans les zones hydrométéorologiques M, N et P, il pourrait être souhaitable de placer les satellites de manière à réduire l'angle de site minimal et, par là, réduire au minimum le nombre de cas où l'affaiblissement par la pluie pourrait dépasser 10 dB pendant 1% du mois le plus défavorable. Les angles de site minimaux dans les zones hydrométéorologiques M, N et P sont respectivement de l'ordre de 12°, 35° et 60° pour un affaiblissement par la pluie de 10 dB non dépassé pendant 1% du mois le plus défavorable.

Parmi les techniques possibles pour compenser l'affaiblissement par la pluie figurent la diversité d'emplacement et la régulation de puissance. Ces sujets sont discutés respectivement aux § 5.6 et 5.4.

3.6 Stations terriennes de connexion en service

Il est utile d'obtenir des renseignements sur les caractéristiques techniques et l'exploitation de liaisons de connexion, notamment concernant le traitement du problème de l'affaiblissement par de fortes pluies et l'augmentation de l'efficacité de stations terriennes transportables.

Selon l'expérience acquise avec l'exploitation de liaisons de connexion du satellite de radiodiffusion japonais BS-2, on a pu établir l'Annexe II au présent Rapport qui donne des renseignements sur les aspects suivants de liaisons de connexion existantes [CCIR 1986-90b]:

- exploitation de liaisons de connexion dans des conditions pluvieuses (section 1 de l'Annexe II),
- systèmes de stations terriennes transportables (section 2 de l'Annexe II).

4. Brouillage

Les sources de brouillage sur le trajet satellite-Terre sont nombreuses, puisque ce sont des satellites de radiodiffusion; de plus, ce genre de brouillage est de nature à réduire le nombre des programmes diffusés à l'intention de chaque pays; aussi la CAMR-RS-77 a-t-elle proposé que, aux fins de la planification dans les Régions 1 et 3, le brouillage dû au trajet satellite-Terre soit égal à 90% du brouillage total.

L'approche adoptée par la CAMR-RS-77 requiert que le rapport de protection pour les liaisons de connexion soit supérieur d'environ 10 dB à celui du trajet satellite-Terre. Il ne faut pas, toutefois, oublier que la CAMR-RS-77 a spécifié des conditions plus strictes pour la protection contre le brouillage que pour la protection contre le bruit. On peut s'attendre, par atmosphère claire, à obtenir sur la liaison de connexion un rapport porteuse/bruit de l'ordre de 30 dB. Même dans ces conditions, la puissance de bruit reçue serait encore dix fois supérieure à la puissance de brouillage, en supposant un rapport de protection de 40 dB.

Le rapport C/I de la liaison de connexion n'a pas besoin d'être spécifié comme élément de planification quand les liaisons de connexion et les liaisons descendantes sont planifiées en même temps, car c'est le rapport global porteuse/brouillage qui est le critère applicable.



4.1 *Brouillage copolaire dans le même canal*

Un rapport de protection à une seule source (C/I_u) de 40 dB entre les liaisons de connexion copolaires transmises à partir de zones de service adjacentes est facile à obtenir pendant 99% du mois le plus défavorable. Par atmosphère claire, un C/I_u de 40 dB exige une séparation des satellites d'environ 3° pour des antennes de liaison de connexion de 5 m de diamètre. Quand on considère le cas le plus défavorable d'un brouillage global et d'un évanouissement dû à la pluie de 10 dB à la station terrienne d'émission utile, la séparation orbitale minimale nécessaire entre des satellites desservant des zones de service adjacentes est d'environ 10° . Des séparations orbitales de moins d'une dizaine de degrés nécessiteraient une certaine séparation des zones de service des liaisons de connexion, de même qu'une certaine séparation est nécessaire entre les zones de service des liaisons descendantes quand les séparations orbitales sont inférieures à 15° . La séparation des satellites sera normalement déterminée par des considérations relatives au brouillage des liaisons descendantes. Cependant, le brouillage des liaisons de connexion peut être le facteur déterminant quand la zone de service de la liaison de connexion est plus grande que la zone de service de la liaison descendante, ou en dehors de cette zone. Une valeur de 40 dB pour (C/I_u) semble une indication convenable pour la planification des liaisons de connexion.

Les essais effectués avec le satellite OTS étaient destinés à mesurer le seuil de perceptibilité d'une source de brouillage pour une liaison complète [CCIR, 1978-82d]. Ces essais ont montré que pour un signal de télévision à 625 lignes conforme au Plan de la CAMR-RS-77, la valeur de 30 dB pour le rapport de protection dans le même canal est confirmée.

Des mesures ont été faites au Canada sur l'effet de la non-linéarité de l'amplificateur à TOP du satellite sur le brouillage dans le même canal. Il semblerait que le phénomène couramment appelé «suppression de signal faible» n'ait pas lieu dans ce cas et qu'aucune diminution du niveau de brouillage n'ait été observée à la sortie d'un ATOP saturé. Le satellite devrait donc être considéré comme transparent dans le calcul du rapport global porteuse/brouillage dans le même canal.

On a adopté en établissant le plan pour les Régions 1 et 3 un rapport de protection de 40 dB entre liaisons de connexion dans le même canal.

4.2 *Brouillage par le canal adjacent*

Pour un brouillage autre que copolaire dans le même canal, le C/I nécessaire est très inférieur à 40 dB et les séparations entre satellites et/ou zones de service peuvent être bien inférieures. Pour des zones de service communes ou adjacentes, les satellites peuvent être presque copositionnés, la protection dans les canaux adjacent et deuxième adjacent étant cependant assurée.

Les essais effectués avec le satellite OTS étaient destinés à mesurer le seuil de perceptibilité d'une source de brouillage (dans le même canal ou dans un canal adjacent) pour une liaison complète [CCIR, 1978-82d]. Ces essais ont montré que pour un signal de télévision à 625 lignes conforme au Plan de la CAMR-RS-77, une valeur plus faible (7 dB au lieu de 14 dB) pour le rapport de protection dans le canal adjacent peut être acceptable dans les Régions 1 et 3. Cette réduction qualitative peut s'expliquer par l'amélioration de la sélectivité pour le canal résultant du filtrage à la station d'émission. Cependant une réduction du brouillage par le canal adjacent due au filtrage sur les liaisons de connexion est quelque peu limitée par le besoin d'un filtre à sélectivité plutôt faible afin d'émettre des signaux avec une dégradation minimale. Si, comme il semble, la valeur adoptée par la CAMR-RS-77 pour le canal adjacent dans la liaison descendante est un peu trop élevée, il serait intéressant de poursuivre les essais afin de déterminer s'il serait possible d'adopter, pour la planification de la liaison de connexion, une valeur correspondante plus faible (par exemple, 17 dB) pour le canal adjacent.

Des expériences de laboratoire en France dans lesquelles le brouillage de liaisons de connexion était simulé en utilisant des signaux de télévision à 625 lignes conformes au Plan de la CAMR-RS-77 ont indiqué que, outre la confirmation du rapport de protection de 30 dB pour le brouillage dans le même canal, pour le brouillage par le canal adjacent, le filtrage d'émission à la station de liaison de connexion et le fonctionnement du tube amplificateur du satellite à saturation entraînent une diminution subjectivement apparente de 4 dB du brouillage par le canal adjacent.

En ce qui concerne le système NTSC à 525 lignes on a étudié au Japon le rapport de protection dans le canal adjacent en tenant compte notamment des effets du coefficient de conversion MA/MP des répéteurs de satellite. Les mesures subjectives des signaux ayant traversé un amplificateur à TOP fonctionnant à 12 GHz, et celles obtenues avec simulation par ordinateur de l'amplification saturée, y compris la conversion MA/MP, concordent et indiquent que le rapport de protection nécessaire dans le canal adjacent peut être ramené à 11 dB pour un brouillage tout juste perceptible, après avoir pris en considération le coefficient de conversion MA/MP de 6° par dB (voir le § 3.3 du présent Rapport).

Compte tenu des résultats expérimentaux différents présentés ci-dessus, _____
_____ il apparaît qu'une valeur unifiée de planification de l'ordre de 21 dB pourrait convenir pour le rapport de protection dans le canal adjacent sur la liaison de connexion, quel que soit le système de télévision utilisé.

On a adopté en établissant le plan pour les Régions 1 et 3 un rapport de protection de 21 dB entre liaisons de connexion dans des canaux adjacents.

4.3 Brouillage par le canal deuxième adjacent

En raison de la réjection hors bande relativement limitée des filtres de récepteur que l'on envisage d'utiliser dans la pratique, le brouillage par le canal deuxième adjacent peut devenir une contribution non négligeable au niveau de brouillage. On a constaté que le rapport de protection est voisin de -10 dB pour les signaux NTSC modulés en fréquence avec deux sous porteuses son et avec des filtres quadripoles à éléments localisés simples.

Des mesures faites avec des signaux MAC-C ont montré qu'un rapport de protection compris entre 0 et -8 dB est adéquat avec le même type de filtre [Shelswell, 1984].

Les principaux facteurs contribuant à ce brouillage par le canal deuxième adjacent sont les liaisons de connexion. La contribution de la liaison descendante est négligeable, car la p.i.r.e. différentielle vers un point donné de la zone de service due à un chevauchement des faisceaux est limitée à quelques décibels. La contribution des liaisons de connexion se révèle plus importante et le cas le plus défavorable se produit quand les liaisons de connexion pour les deux canaux (canal utile et canal deuxième adjacent brouilleur) proviennent de la même zone de service et se dirigent vers la même position orbitale. Une différence de gain d'antenne vers la station utile et la station brouilleuse, ainsi qu'un évanouissement dû à la pluie au site d'émission utile alors que l'atmosphère est claire au site brouilleur, peuvent produire un différentiel relativement important dans les niveaux reçus au satellite.

Dans le cas de la planification de la Région 2 à la CARR SAT-83, on a constaté que le différentiel de niveau des liaisons de connexion pouvait s'élever à 16 dB, donnant une marge de -6 dB dans le canal deuxième adjacent pour un rapport de protection correspondant de -10 dB, ce différentiel de niveau devenant dans de nombreux cas le mécanisme de brouillage prédominant. Une réduction de 10 dB du brouillage par le canal deuxième adjacent de la liaison de connexion a été admise en raison du filtrage de canal dans le satellite afin d'éviter cette prédominance.

Il peut en résulter d'autres problèmes, à savoir l'émission de signaux intenses dans le canal deuxième adjacent par le répéteur du satellite et une intermodulation avec le signal utile dans l'amplificateur non linéaire du répéteur. La conséquence en est le rayonnement d'autres composantes brouilleuses à l'intérieur et à l'extérieur de la largeur de bande nominale de la liaison descendante. Dans le Plan des liaisons descendantes pour les Régions 1 et 3, pour les zones de couverture limitrophes ou se chevauchant, les canaux sont espacés en fréquence du double de la largeur d'un canal, avec le même sens de polarisation pour la même position orbitale. Il peut donc y avoir création d'un brouillage supplémentaire sur la liaison descendante, dans le canal utile n , sous l'effet du mécanisme suivant:

- le signal de la liaison de connexion (canal n) traverse des répéteurs copositionnés ayant pour canal $n \pm 2$;
- intermodulation dans les mêmes répéteurs sur les voies $n \pm 2$ due aux signaux dans les canaux $n \pm 4$.

Pour réduire à un minimum les effets de ce mécanisme de brouillage, il faut par conséquent introduire un affaiblissement suffisant des signaux des canaux deuxièmes adjacents, en opérant un filtrage dans le répéteur du satellite.

Une étude effectuée au Royaume-Uni a permis de conclure que, pour la planification des liaisons de connexion dans les Régions 1 et 3, et en supposant que l'on a une transposition directe des fréquences, il ne sera pas indispensable de tenir compte du brouillage par les canaux deuxièmes adjacents, sous réserve de pouvoir affaiblir d'au moins 40 dB le signal de ces canaux dans le répéteur du satellite [Shelswell, 1984]. Une deuxième étude effectuée au Japon a montré que, si l'on admet un évanouissement sévère dû à la pluie (environ 18 dB) dans le canal deuxième adjacent, l'affaiblissement requis du deuxième canal adjacent par le filtre des canaux d'entrée et de sortie est, au total, égal approximativement à 50 dB.

Dans la pratique, l'effet conjugué des filtres d'entrée et de sortie du répéteur permet d'obtenir un affaiblissement de 55 dB pour les signaux dans le canal deuxième adjacent [CCIR, 1986-90]. Par conséquent, il est confirmé qu'il ne sera pas nécessaire de tenir compte du brouillage dans le canal deuxième adjacent lors de l'évaluation du Plan des liaisons de connexion pour les Régions 1 et 3.

Les brouillages causés par le canal deuxième adjacent n'ont pas été pris en compte dans la planification pour les Régions 1 et 3.

4.4 Calcul de la marge de protection équivalente pour les Régions 1 et 3*

La marge de protection équivalente de la liaison de connexion (M_u) est donnée par la formule:

$$M_u = -10 \log \left(10^{-M_1/10} + 10^{-M_2/10} + 10^{-M_3/10} \right) \text{ (dB)}$$

où M_1 est la marge de protection pour le même canal (en dB). On a donc :

$$M_1 = \left[\frac{\text{puissance utile}}{\text{somme des puissances brouilleuses dans le même canal}} \right] \text{ (dB) - rapport de protection dans le même canal}$$

M_2 and M_3 sont les valeurs (en dB), respectivement pour les canaux adjacents supérieur et inférieur. On a :

$$M_2 = \left[\frac{\text{puissance utile}}{\text{somme des puissances brouilleuses dans le canal adjacent supérieur}} \right] \text{ (dB) - rapport de protection dans le canal adjacent}$$

$$M_3 = \left[\frac{\text{puissance utile}}{\text{somme des puissances brouilleuses dans le canal adjacent inférieur}} \right] \text{ (dB) - rapport de protection dans le canal adjacent}$$

Toutes les puissances sont calculées à l'entrée du récepteur.

* La définition de la marge de protection équivalente pour les Régions 1 et 3 est incorporée dans le § 4.11 de la Recommandation 566.

4.5 Calcul de la marge de protection équivalente globale* pour les Régions 1 et 3**

La marge de protection équivalente globale M (en dB) est donnée par la relation suivante <Brajan, 1986> :

$$M = -10 \log \left(\begin{array}{cc} -(M_u + R_{cu})/10 & -(M_d + R_{cd})/10 \\ 10 & + 10 \end{array} \right) - R_{co}$$

où M_u est la marge de protection équivalente pour la liaison de connexion définie au § 4.4,

M_d est la marge de protection équivalente pour la liaison descendante,

M_{cu} est le rapport de protection même canal pour la liaison de connexion,

R_{cd} est le rapport de protection même canal pour la liaison descendante,

R_{co} est le rapport de protection même canal global.

Les valeurs de rapports de protection employées dans la planification sont les suivantes:

$$\begin{aligned} R_{cu} &= 40 \text{ dB} \\ R_{cd} &= 31 \text{ dB} \\ R_{co} &= 30 \text{ dB.} \end{aligned}$$

4.6 *Brouillage entre satellites copositionnés*

Les cas les plus critiques de brouillage sur la liaison de connexion se produisent avec des canaux contrapolaires émis vers des satellites copositionnés.

Dans le cas où des satellites copositionnés utilisent en commun un canal contrapolaire, il faut un rapport de protection de 40 dB. Une discrimination supérieure à environ 30 dB fournie par le diagramme de l'antenne de réception du satellite exige une séparation géographique des zones de service des liaisons de connexion. La discrimination est la différence entre le gain copolaire en direction de points situés dans la zone de service désirée et le gain contrapolaire en direction du point le plus rapproché de la zone de service brouilleuse. Les diagrammes d'antenne de satellite sont normalement exprimés en fonction de φ/φ_0 , φ étant l'angle exocentrique entre la direction de l'axe et la direction recherchée, et φ_0 l'ouverture à 3 dB de l'antenne du satellite. La discrimination entre le signal utile et le signal brouilleur est alors la différence entre le gain en direction de la station de la liaison de connexion désirée et le gain à l'angle φ . Si l'on admet que la discrimination maximale est égale à l'opposé du gain dans l'axe, il en résulte que, pour obtenir une discrimination de 40 dB en limite de la zone de service, on doit avoir un gain dans l'axe de 43 dB et des valeurs de φ/φ_0 supérieures à 2. Pour bien des pays, des gains d'antenne de satellite de 43 dB et des zones de service de liaisons de connexion s'étendant à tout le territoire sont des conditions incompatibles. D'ailleurs, pour tenir compte des non-homogénéités du signal reçu provenant de l'affaiblissement par la pluie, et de l'irrégularité du niveau de puissance à l'émission, il faudrait que les gains d'antenne soient encore plus élevés. Un gain dans l'axe de 49 dB (ouverture du faisceau de 0,6°) procurerait tout au plus une marge de 6 dB contre l'affaiblissement par la pluie.

* L'adjectif "équivalent" signifie que l'on a pris en compte les marges de protection pour toutes les sources de brouillages, aussi bien dans les canaux adjacents que dans le même canal.

** Ces définitions sont incorporées dans la Recommandation 566.

Considérons également le cas où des satellites copositionnés, fonctionnant sur des canaux adjacents contrapolaires, ont des zones de service de liaison de connexion communes. Supposons que les capacités de discrimination soient de 25 dB pour l'antenne de réception des satellites et de 30 dB pour l'antenne d'émission de la station terrienne. Comme les deux composantes du brouillage peuvent être en phase, l'addition des tensions doit être utilisée pour déterminer le niveau de brouillage. Par atmosphère claire, le C/I de la liaison de connexion pour un canal adjacent serait de 21,1 dB. Quand le trajet de liaison de connexion désiré est soumis à un affaiblissement par la pluie de 10 dB, le C/I de la liaison de connexion tombe à 11,1 dB. Le rapport de protection de 24 dB impliqué par la CAMR-RS-77 ne peut être obtenu pour cet exemple, même par atmosphère claire.

Une solution possible au problème du brouillage par le canal adjacent est de ménager une légère séparation entre satellites copositionnés. Une étude effectuée au Canada a montré que l'on peut obtenir une amélioration du découplage dans le cas de deux satellites émettant sur des canaux adjacents contrapolaires, en séparant ces satellites par une fraction de degré de façon qu'ils soient vus comme deux positions orbitales distinctes par les antennes d'émission de la liaison de connexion mais comme une seule et même position par les antennes de réception plus petites. Cela permet de supprimer presque complètement la possibilité, pour le C/I dans le canal adjacent de l'ensemble de la liaison, de subir les évanouissements dus à la pluie sur les liaisons de connexion, au prix d'une petite diminution du gain au terminal de réception.

La Fig. 4 montre les résultats d'une étude paramétrique donnant le C/I global dans le canal adjacent en fonction de la séparation orbitale et pour différentes tailles d'antennes d'émission. Les paramètres techniques adoptés à la CARR SAT-83, y compris les erreurs de pointage des antennes de réception et d'émission, ont été utilisés dans cette analyse. La figure donne aussi la variation du gain de l'antenne de réception en fonction de la séparation orbitale. Il convient de noter que la perte de gain de réception de 1 dB due à l'erreur de pointage est déjà prise en considération dans le calcul du G/T de la station terminale terrienne.

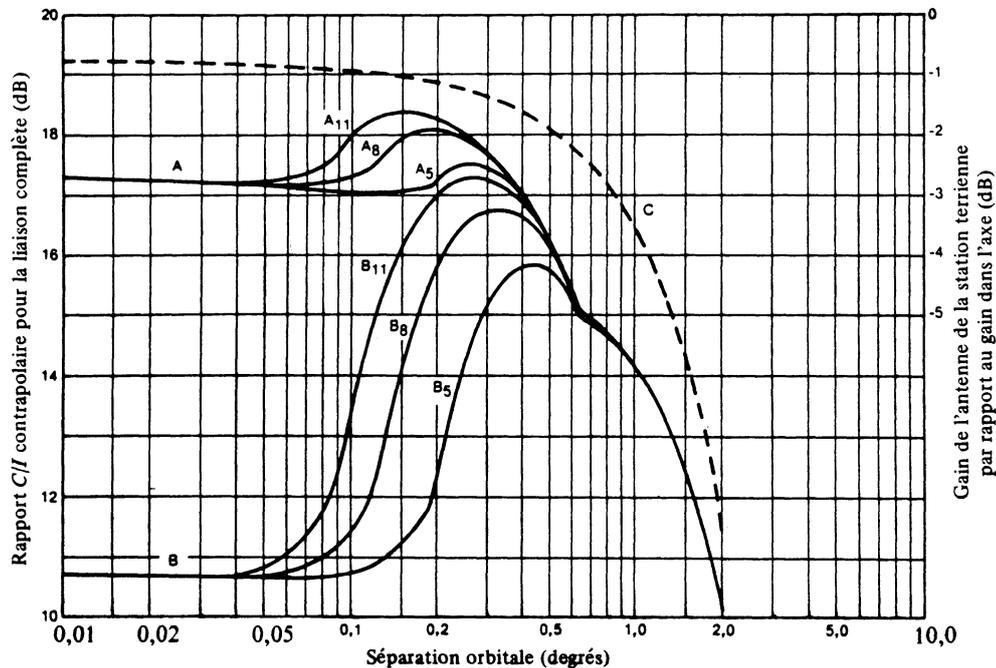


FIGURE 4 – Amélioration du rapport C/I contrapolaire par séparation orbitale

- Courbes A : atmosphère claire sur les liaisons de connexion et la liaison descendante
 B : affaiblissement de 10 dB par la pluie sur la liaison de connexion utile
 C : dégradation du gain copolaire de réception de la station terrienne
 A₅ : rapport C/I contrapolaire liaison complète pour des antennes de 5 m aux sites de liaison de connexion (par atmosphère claire)
 A₈ : rapport C/I contrapolaire liaison complète pour des antennes de 8 m aux sites de liaison de connexion (par atmosphère claire)
 A₁₁ : rapport C/I contrapolaire liaison complète pour des antennes de 11 m aux sites de liaison de connexion (par atmosphère claire)
 B₅ : rapport C/I contrapolaire liaison complète pour des antennes de 5 m aux sites de liaison de connexion (pour un évanouissement de 10 dB)
 B₈ : rapport C/I contrapolaire liaison complète pour des antennes de 8 m aux sites de liaison de connexion (pour un évanouissement de 10 dB)
 B₁₁ : rapport C/I contrapolaire liaison complète pour des antennes de 11 m aux sites de liaison de connexion (pour un évanouissement de 10 dB)

La séparation orbitale optimale est le point de la meilleure discrimination de polarisation dans des conditions d'évanouissement sur la liaison de connexion. Elle représente le meilleur compromis entre la discrimination de polarisation de la liaison de connexion et la perte de gain de la liaison descendante. Cette valeur optimale est de $0,4^\circ$ pour des antennes d'émission de liaison de connexion de 5 m. Cette séparation a été utilisée pour l'établissement du Plan de la Région 2 à la CARR SAT-83. L'utilisation d'antennes d'émission plus grandes ramènera cette valeur optimale à une séparation orbitale plus petite (par exemple: $0,3^\circ$ pour des antennes de 8 m et $0,27^\circ$ pour des antennes de 11 m).

La CAMR ORB(88) a décidé que les administrations pouvaient placer les satellites d'un même "groupe" de satellites (c'est-à-dire partageant la même position nominale dans le plan) à n'importe quelle position écartée, au plus, de $0,2^\circ$ de la position nominale, à condition d'obtenir l'accord des autres administrations de cette position d'orbite. L'intérêt de cette disposition est de permettre une discrimination supplémentaire entre liaisons de connexion (grandes antennes d'émission) alors qu'à la réception de la liaison descendante (petites antennes) les satellites peuvent toujours être considérés comme étant à la même position.

4.7 Effet de la conversion MA/MP

Le § 3.3 ci-dessus traite de la dégradation du rapport C/N effectif des liaisons de connexion, causée par la conversion MA/MP dans le répéteur du satellite. On peut prévoir qu'un effet similaire se produira avec les rapports C/I effectifs des liaisons de connexion, bien qu'il n'existe pas, à l'heure actuelle, de données expérimentales suffisantes pour le confirmer. En effet, les essais réalisés au Royaume-Uni indiquent qu'avec une conversion MA/MP faible ($< 2^\circ/\text{dB}$), l'effet des brouillages mutuels sur la liaison de connexion est très semblable à l'effet produit sur la liaison descendante [Shelswell, 1984]. Il faut poursuivre les études avec les valeurs de conversion MA/MP plus élevées que l'on trouve actuellement dans les amplificateurs de puissance à TOP nécessaires à la radiodiffusion par satellite.

La diminution des rapports globaux C/I de la liaison dépendra des rapports relatifs C/I sur les liaisons de connexion et les liaisons descendantes, de la même façon que le déséquilibre de la liaison affecte le rapport global C/N (voir le § 3.3).

4.8 Techniques propres à diminuer les brouillages mutuels entre liaisons de connexion

Pour diminuer les brouillages mutuels entre liaisons de connexion, il est possible d'adopter les méthodes suivantes (voir le Rapport de la CAMR ORB-85):

- Dans la planification, l'emploi d'un ensemble commun de paramètres techniques pour toutes les liaisons de connexion est souhaitable, mais des études préliminaires effectuées par plusieurs administrations ont montré que l'on aura peut-être des difficultés à obtenir les valeurs requises de C/I sur un petit nombre de liaisons de connexion, en particulier lorsque certaines administrations ont des besoins spéciaux qu'il faut satisfaire.

Afin de surmonter ces difficultés, il est proposé d'avoir une certaine souplesse pour les valeurs des paramètres de planification utilisés. On peut utiliser une ou plusieurs des techniques suivantes, chaque fois que nécessaire en cours de planification, pour atteindre les valeurs fixées en matière de protection contre les brouillages.

- Réglage du niveau maximal de p.i.r.e. des liaisons de connexion brouilleuses potentielles ou des liaisons de connexion sujettes à un brouillage excessif, sous réserve que les valeurs de C/N et de C/I sur les liaisons de connexion ayant fait l'objet du réglage, restent acceptables.

- Lorsque la planification indépendante des positions orbitales est défavorablement influencée, le diagramme de référence hors axe des lobes latéraux copolaires et contrapolaires de l'antenne d'émission de station terrienne peut être limité à $29 - 25 \log \phi$ (dBi), pour des valeurs de ϕ (angle hors axe) dans les régions des positions orbitales adjacentes ou deuxièmes adjacentes dans le plan de l'orbite des satellites géostationnaires.

- Lorsque le découplage contrapolaire obtenu est insuffisant, le diagramme de référence hors axe des lobes latéraux contrapolaires de l'antenne d'émission de la station terrienne peut être limité à $24 - 25 \log \phi$ (dBi) pour $0,76^\circ \leq \phi \leq 22,9^\circ$ et -10 (dBi) pour $\phi > 22,9^\circ$.

- Ajustement des assignations de canaux des liaisons de connexion, en conservant la même fréquence de translation pour toutes les assignations associées à un faisceau de trajet descendant donné.

- Modification du diagramme, de la forme ou de la taille du faisceau de l'antenne de réception du satellite et/ou de la réponse dans les lobes latéraux (par exemple, antenne à faisceaux multiples ou à faisceau modelé).

- Décalage de la direction de pointage du faisceau de l'antenne de réception du satellite, sous réserve que la valeur fixée pour C/N demeure inchangée.
- Amélioration jusqu'à $0,1^\circ$ de la précision de pointage du faisceau de l'antenne de réception du satellite.
- Fixation d'une limite supérieure à la marge d'affaiblissement par la pluie incluse dans le bilan de puissance des liaisons de connexion.
- Espacement des positions des satellites sur l'orbite de $+0,2^\circ$ par rapport à la position nominale et spécification de la p.i.r.e. hors axe de la station terrienne pertinente dans la gamme de 0° à 1° pour les angles hors axe du faisceau.

En pareils cas, p.i.r.e. (dBW) étant la p.i.r.e. dans l'axe de la station terrienne, la p.i.r.e. hors axe de l'antenne d'émission de la station terrienne pour des angles $0^\circ \leq \varphi < 1^\circ$ ne doit pas être supérieure à:

$$\begin{array}{ll}
 \text{p.i.r.e. (dBW)} & \text{pour } 0^\circ \leq \varphi \leq 0,1^\circ \\
 \text{p.i.r.e.} - 21 - 20 \log \varphi \text{ (dBW)} & \text{pour } 0,1^\circ < \varphi \leq 0,32^\circ \\
 \text{p.i.r.e.} - 5,7 - 53,2 \varphi^2 \text{ (dBW)} & \text{pour } 0,32^\circ < \varphi \leq 0,44^\circ \\
 \text{p.i.r.e.} - 25 - 25 \log \varphi \text{ (dBW)} & \text{pour } 0,44^\circ < \varphi < 1^\circ
 \end{array}$$

5. Caractéristiques des stations terriennes pour liaisons de connexion

5.1 P.i.r.e.

Une fois qu'on a spécifié la bande de fréquences et le rapport G/T du satellite, la p.i.r.e. que doit avoir la station terrienne pour satisfaire à la condition C/N est déterminée dans une large mesure par les statistiques de l'affaiblissement produit par les précipitations aux emplacements des stations terriennes. Soit L l'affaiblissement net de trajet (dB) qui n'est pas dépassé pendant un certain pourcentage du mois le plus défavorable, par exemple 99%; la valeur nécessaire de la p.i.r.e. de la station terrienne, par canal, est donnée par l'équation:

$$\text{p.i.r.e.} = P_E + G_E = C/N + 10 \log(kB) - G/T + L \quad \text{dBW} \quad (4)$$

où:

P_E : puissance d'émission de la station terrienne, par canal (dBW)

G_E : gain de l'antenne de la station terrienne dans l'axe (dBi)

C/N : rapport porteuse/bruit à l'entrée du récepteur du satellite (dB), dépassé pendant, par exemple, 99% du mois le plus défavorable

k : constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

B : largeur de bande FI du récepteur du satellite (Hz)

G/T : facteur de qualité du satellite (y compris l'antenne de réception et l'alimentation) (dB(K⁻¹))

Les considérations exposées dans le § 3.3 donnent à penser qu'un C/N de l'ordre de 26 dB à l'entrée du satellite devrait être choisi. A titre d'exemple de l'utilisation de cette équation, on prendra: $C/N = 26$ dB, $B = 27$ MHz (voir le Plan pour les Régions 1 et 3), $G/T = 5$ dB(K⁻¹) correspondant à $T = 2000$ K et $G = 38$ dB à la limite d'un faisceau à $1,5^\circ$ et $L = 212$ dB (209 dB d'affaiblissement en espace libre à 18 GHz plus 3 dB d'affaiblissement par la pluie, correspondant à 1% de la moyenne nationale la plus défavorable dans les projections statistiques des valeurs les plus défavorables pour l'Europe (voir le Rapport 565)). Dans ce cas, le résultat du calcul de la p.i.r.e. de la station terrienne est 78,7 dBW. Cette valeur se trouve bien en deçà de la p.i.r.e. possible produite par une station terrienne à 18 GHz ayant une puissance d'émission d'environ 200 W et un diamètre d'antenne d'environ 5 m avec un rendement de 55%.

En pratique, quand on tient compte d'autres considérations que le C/N , les valeurs de p.i.r.e. requises pour les liaisons de connexion se situeront dans la gamme 78-87 dBW suivant les caractéristiques de chaque système. A titre d'exemple, pour la planification de la Région 2, une p.i.r.e. nominale de 87 dBW a été utilisée.

Un autre exemple pratique, basé sur l'utilisation de plusieurs stations terriennes de liaison de connexion avec un satellite ayant une antenne de réception à faisceau étroit pour atténuer les problèmes de brouillage mutuels des liaisons de connexion, requiert une p.i.r.e. de 81,5 dBW. Pour cet exemple, les valeurs de paramètres suivantes ont été choisies: $C/N = 26$ dB, $B = 27$ MHz (voir Plans des Régions 1 et 3), $G/T = 8,5$ dB(K⁻¹) (correspondant à $T = 2500$ K, $G = 46,5$ dB à la limite d'un faisceau de $0,6^\circ$, une marge de 4 dB pour un décalage de pointage de l'antenne de réception, pour tenir compte des liaisons de connexion situées près de la bordure de la zone de couverture), et $L = 218,3$ dB (209,3 dB pour l'affaiblissement en espace libre à 18 GHz, plus 9 dB valeur supposée à titre d'exemple pour l'affaiblissement par la pluie). La p.i.r.e. minimale requise est alors de 81,5 dBW. Afin de prendre en compte la marge de la station (poursuite, mesure, etc.), on peut ajouter 3 dB supplémentaires, pour atteindre la p.i.r.e. maximale nécessaire de 84,5 dBW.

On trouve sans difficulté des antennes et des émetteurs capables de répondre au critère de p.i.r.e., compte tenu des affaiblissements du dispositif d'alimentation et du multiplexeur. Des antennes (Cassegrain ou à alimentation centrale) sont disponibles avec des diamètres de 8 m et plus; des tubes d'émission de 18 GHz ayant une puissance de sortie de 1 kW sont en cours de développement.

5.2 Diagramme de référence de l'antenne d'émission

La Recommandation 465 propose un diagramme de rayonnement copolaire de référence pour les antennes d'émission des stations terriennes du SFS avec $D/\lambda \geq 100$:

$$\begin{aligned} G &= 32 - 25 \log \varphi & \text{dBi} & & 1^\circ < \varphi \leq 48^\circ & (5) \\ &= -10 & \text{dBi} & & \varphi > 48^\circ & \end{aligned}$$

Le Rapport 391 étudie ce diagramme de rayonnement et fournit des données à l'appui de ce diagramme. Le Rapport 390 étudie les facteurs qui influent sur le niveau des lobes latéraux. Cependant, le Rapport 453-3 (1982) suggère un diagramme plus strict afin d'augmenter l'utilisation de la ressource orbite-spectre:

$$G = 28 - 25 \log \varphi \quad \text{dBi} \quad (6)$$

jusqu'à un minimum de -20 dBi.

De l'avis de constructeurs d'antennes en France, et d'après des tests effectués au Canada sur des antennes récentes à haute performance (voir l'Annexe I), il peut être possible de fabriquer des antennes n'ayant pas plus de 10% de leurs crêtes de lobes latéraux au-dessus de cette enveloppe.

Parmi les facteurs qui indiquent que ces niveaux peuvent être atteints avec les antennes utilisées dans la pratique, signalons le fait que la conception des dispositifs d'alimentation (réflecteurs secondaires y compris) peut être optimisée uniquement pour la largeur de bande de fréquences d'émission employée (500 ou 800 MHz, suivant la Région).

La XV^e Assemblée plénière du CCIR a adopté la Recommandation 580 selon laquelle les nouvelles antennes de station terrienne ayant un rapport D/λ supérieur à 150 installées après 1988 et fonctionnant en liaison avec un satellite géostationnaire devraient avoir un objectif de conception tel que le gain de 90% des crêtes du lobe latéral ne dépasse pas:

$$G = 29 - 25 \log \varphi \quad \text{dBi} \quad \text{pour } 1^\circ \leq \varphi \leq 20^\circ \quad (7)$$

Le Rapport 391 suggère aussi des diagrammes de rayonnement pour les petites antennes ($D/\lambda < 100$), mais cela correspond à des antennes de diamètre inférieur à 1,7 m à 17 GHz et il est improbable que des antennes aussi petites soient utilisées pour les liaisons de connexion aux satellites de radiodiffusion.

Il serait également possible d'optimiser la performance des lobes latéraux des antennes pour qu'elle corresponde à des séparations spécifiques entre satellites pour un plan utilisant une séparation orbitale fixe. Dans ce cas, il pourrait être souhaitable d'utiliser un diagramme de référence pour la planification du service de radiodiffusion par satellite, et un autre diagramme de référence pour la coordination avec d'autres services.

Les Appendices 28 et 29 du Règlement des radiocommunications étendent aux angles inférieurs à 1° le diagramme de rayonnement de la composante copolaire en se fondant sur l'hypothèse d'un lobe principal gaussien et d'un plateau au niveau du premier lobe latéral.

5.2.1 Diagrammes de référence dans la Région 2

Les nouveaux diagrammes de rayonnement décrits ci-dessous et représentés sur la Fig. 5 ont été adoptés par la CARR SAT-83 pour la planification des liaisons de connexion au SRS. Des renseignements généraux à ce sujet sont donnés dans l'Annexe I au présent Rapport.

5.2.1.1 Composante copolaire

La composante copolaire d'une antenne de liaison de connexion est définie sur la base d'une enveloppe des lobes latéraux ayant pour expression, « $29 - 25 \log \varphi$ », jusqu'à -10 dB par rapport à la source isotrope pour la région des lobes arrière (voir la Fig. 5). Le lobe principal de l'antenne est limité par le segment « $36 - 20 \log \varphi$ », qui est tangent aux lobes principaux à distribution gaussienne d'antennes de dimension quelconque, dans l'hypothèse d'un rendement d'antenne de 65%. Ce segment va jusqu'à la valeur angulaire $0,32^\circ$, au-delà de laquelle une partie du lobe principal gaussien de l'antenne de 2,5 m (antenne de plus petit diamètre admise dans le Plan) se raccorde à l'enveloppe des lobes latéraux exprimée par « $29 - 25 \log \varphi$ ». Le but recherché est de permettre l'élargissement du lobe principal dans le cas des petites antennes.

5.2.1.2 Composante contrapolaire

La composante contrapolaire d'une antenne de liaison de connexion est définie avec un palier près de l'axe, avec une discrimination de 30 dB par rapport au gain copolaire sur l'axe. Pour les grands écarts angulaires hors axe, les lobes latéraux contrapolaires doivent se raccorder avec le segment oblique « $9 - 20 \log \varphi$ », jusqu'à -10 dB par rapport à la source isotrope. La pente de ce segment est telle que son point de raccordement avec le palier voisin de l'axe coïncidera toujours avec le point correspondant au lobe latéral le plus défavorable, c'est-à-dire le point à -3 dB pour la composante copolaire.

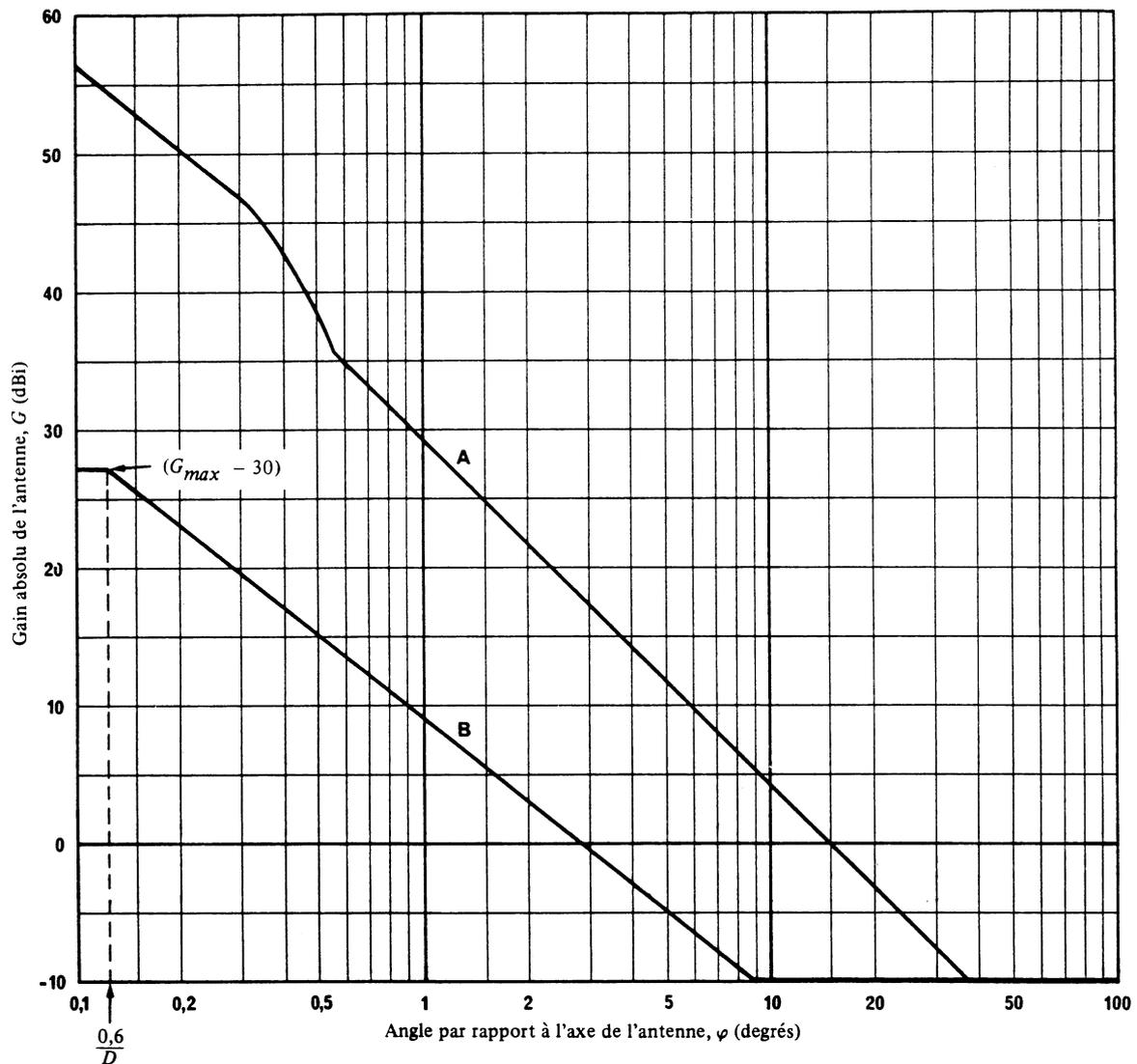


FIGURE 5 – Diagrammes de référence pour les composantes copolaire et contrapolaire des antennes d'émission (Région 2)

Courbes A : composante copolaire
(dBi par rapport à une source isotrope)

$36 - 20 \log \varphi$	pour $0,1^\circ \leq \varphi < 0,32^\circ$
$51,3 - 53,2 \varphi^2$	pour $0,32^\circ \leq \varphi < 0,54^\circ$
$29 - 25 \log \varphi$	pour $0,54 \leq \varphi < 36^\circ$
-10	pour $\varphi \geq 36^\circ$

B : composante contrapolaire
(dBi par rapport à une source isotrope)

$G_{max} - 30$	pour $\varphi < \left(\frac{0,6}{D}\right)^\circ$
$9 - 20 \log \varphi$	pour $\left(\frac{0,6}{D}\right)^\circ \leq \varphi < 8,7^\circ$
-10	pour $\varphi \geq 8,7^\circ$

où:

φ : angle hors axe, par rapport à l'axe du lobe principal
 G_{max} : gain copolaire de l'antenne, dans l'axe
 D : diamètre de l'antenne, (m) ($D \geq 2,5$)

5.2.1.3 Méthode analytique à appliquer pour satisfaire aux diagrammes de référence

Pour déterminer si les diagrammes d'antenne mesurés satisfont ou non aux diagrammes de référence, on applique les critères suivants:

- pour la composante copolaire, le diagramme de référence ne doit pas être dépassé entre $0,1^\circ$ et $0,54^\circ$;
- pour la composante contrapolaire, le diagramme de référence ne doit pas être dépassé entre 0° et $(0,6/D)^\circ$;
- pour les grands écarts angulaires par rapport à l'axe, le diagramme de référence ne doit pas être dépassé par plus de 10% des lobes latéraux contenus dans chaque fenêtre angulaire de référence. Ces fenêtres sont les suivantes: $0,54^\circ$ à 1° , 1° à 2° , 2° à 4° , 4° à 7° , 7° à 10° , 10° à 20° , 20° à 40° , 40° à 70° , 70° à 100° et 100° à 180° . La première fenêtre angulaire de référence pour l'évaluation de la composante contrapolaire est la fenêtre allant de $(0,6/D)^\circ$ à $1,0^\circ$.

5.2.2 Diagrammes de référence dans les Régions 1 et 3

Pour la planification des liaisons de connexion dans les Régions 1 et 3, la CAMR ORB-88 a adopté des valeurs de p.i.r.e. hors axe à ne pas dépasser, ces valeurs sont fondées sur l'utilisation d'antennes d'émission de station terrienne qui ont un gain nominal de 57 dBi et dont les caractéristiques sont décrites ci-dessous.

5.2.2.1 Diamètre de l'antenne

Pour une valeur donnée de la p.i.r.e. dans l'axe et un diagramme d'antenne relatif donné, la p.i.r.e. hors axe dépend du diamètre de l'antenne. Plus ce diamètre est grand, plus la p.i.r.e. hors axe, qui est une source potentielle de brouillage entre des positions orbitales adjacentes, est faible.

Il est donc nécessaire, pour la planification des liaisons de connexion, de définir un diamètre d'antenne de référence. La valeur adoptée est de 5 m pour la bande 17,3-18,1 GHz et de 6 m pour la bande 14,5-14,8 GHz.

Des antennes plus petites, de 2,5 m de diamètre par exemple, peuvent également être utilisées, sous réserve qu'il n'y ait pas de dégradation de la situation de brouillage. Dans la pratique, cela veut dire qu'il pourrait être nécessaire de réduire la puissance ou d'améliorer le diagramme d'antenne afin qu'il n'y ait pas d'augmentation de la p.i.r.e. hors axe, et donc pas de brouillage inacceptable causé à la position orbitale adjacente et à d'autres services.

5.2.2.2 Gain dans l'axe

Le gain dans l'axe pour l'antenne de 5 m de diamètre à 17,3-18,1 GHz et pour l'antenne de 6 m à 14,5-14,8 GHz a été fixé à 57 dBi.

5.2.2.3 P.i.r.e. en dehors de l'axe des antennes d'émission

La Figure 6 indique les p.i.r.e. copolaire et contrapolaire en dehors de l'axe adoptées pour la planification dans les Régions 1 et 3.

5.2.2.4 Gain contrapolaire hors axe

Des études ont montré qu'il n'est pas nécessaire de maintenir, aux fins de la planification, une rejection contrapolaire élevée à des angles s'écartant nettement de l'axe. En conséquence, il est possible d'utiliser des caractéristiques contrapolaires identiques aux caractéristiques copolaires à des angles correspondant aux séparations orbitales utilisées dans les Régions 1 et 3.

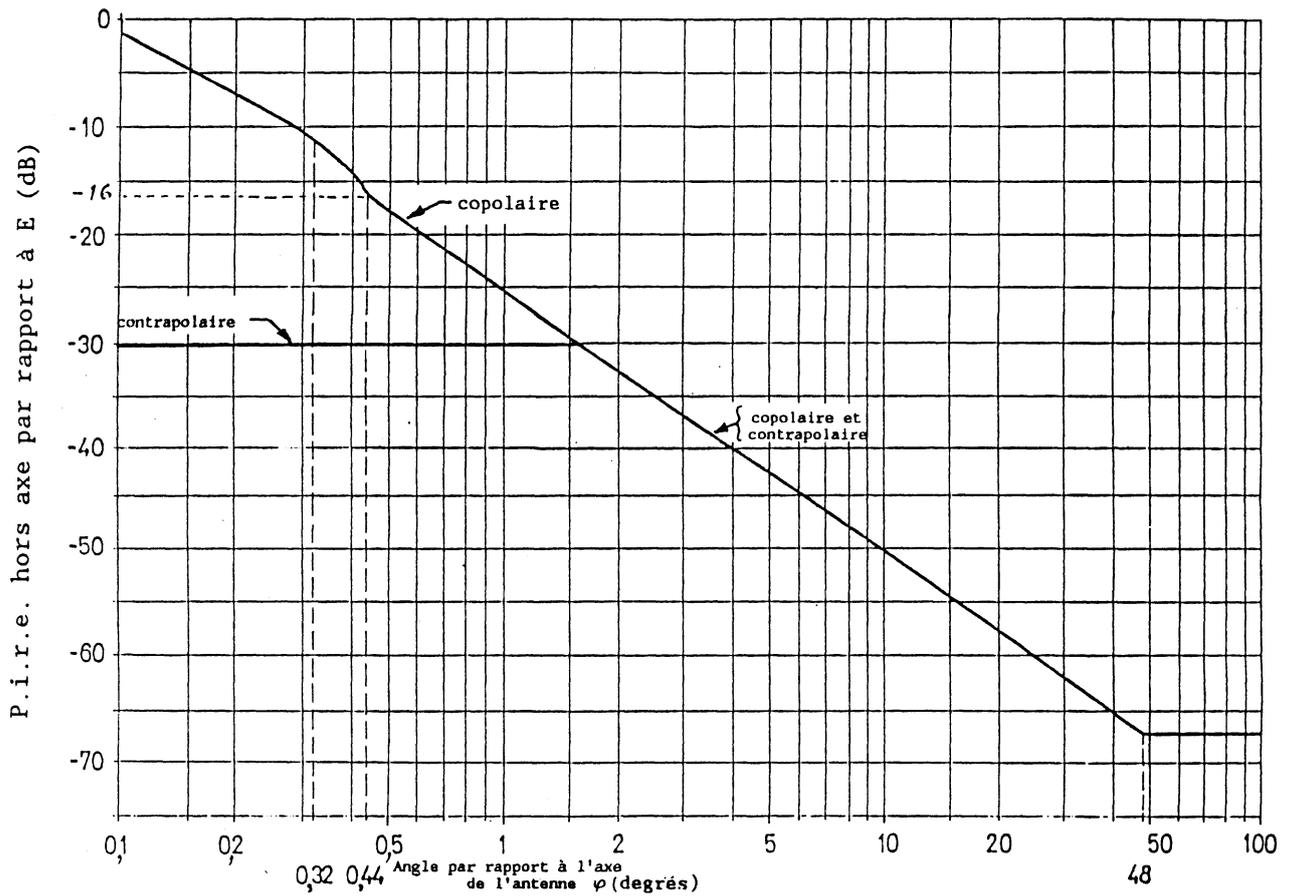


FIGURE 6 - P.i.r.e. de la station terrienne selon l'angle par rapport à l'axe de l'antenne

Composante copolaire (dBW) :

E (dBW) pour $0^\circ < \theta \leq 0.1^\circ$
 $E - 21 - 20 \log \theta$ (dBW) pour $0.1^\circ < \theta \leq 0.32^\circ$
 $E - 5.7 - 53.2 \theta^2$ (dBW) pour $0.32^\circ < \theta < 0.44^\circ$
 $E - 25 - 25 \log \theta$ (dBW) pour $0.44^\circ < \theta \leq 48^\circ$
 $E - 67$ (dBW) pour $\theta > 48^\circ$

Composante contrapolaire (dBW) :

$E - 30$ (dBW) pour $0^\circ \leq \theta \leq 1.6^\circ$
 $E - 25 - 25 \log \theta$ (dBW) pour $1.6^\circ < \theta \leq 48^\circ$
 $E - 67$ (dBW) pour $\theta > 48^\circ$

où E (dBW) est la p.i.r.e. de la station terrienne dans l'axe de l'antenne et θ l'écart angulaire par rapport à l'axe du lobe principal (en degrés).

5.3 Utilisation de petites antennes d'émission

Le diamètre minimal d'une antenne de station terrienne considéré par la CARR SAT-83 dans le diagramme d'émission de liaison de connexion décrit au § 5.2.4 est de 2,5 m. L'élargissement du faisceau principal d'une antenne de 2,5 m ($D/\lambda = 150$) a été incorporé dans le diagramme de référence copolaire. De tels terminaux transportables ne causeraient pas plus de brouillage que le brouillage calculé dans un plan, à condition que leur diagramme de rayonnement dans les lobes latéraux ne dépasse pas l'enveloppe des lobes latéraux proposée aux fins de planification, et à condition qu'une limite maximale de la puissance d'émetteur soit adoptée pour la planification.

Pour les Régions 1 et 3, l'utilisation d'une antenne ayant un diamètre inférieur à 5 m peut être prise en considération, à condition qu'elle soit compatible avec les conditions de brouillage spécifiées dans le Plan pour les liaisons de connexion qui prend pour base un diamètre d'au moins 5 m. Une étude préliminaire effectuée au Japon a démontré que, dans certaines circonstances pour la Région 3, il n'existerait aucune différence dans les valeurs de C/I pour des satellites copositionnés, si on utilisait par exemple des antennes d'émission ayant un diamètre de 2,5 m ou même de 1 m, par exemple lorsque les systèmes ont des p.i.r.e. homogènes. De légers brouillages des satellites adjacents peuvent se produire, même si on utilise des antennes d'émission de liaisons de connexion ayant un diamètre de 2,5 m et les caractéristiques spécifiées dans la Recommandation 465, avec des systèmes à p.i.r.e. homogènes, si un plan des liaisons de connexions à 17 GHz est élaboré par translation directe du Plan de la CAMR-RS-77 pour les liaisons descendantes.

La CAMR-ORB(88) a adopté un diamètre d'antenne minimal de 2,5 m en respectant la caractéristique en dehors de l'axe donnée Figure 6 correspondant à un gain nominal de l'antenne égal à 57 dBi sur l'axe.

Les rapports C/N_u et C/I_u que l'on peut obtenir avec ces terminaux terriens transportables peuvent ne pas correspondre aux valeurs prévues pendant 99% du mois le plus défavorable avec une antenne plus grande, mais seraient dans la plupart des cas suffisants par atmosphère claire, comme l'indique le Tableau I pour C/N_u . Le C/N_u des terminaux transportables dépend surtout de la puissance émise et du facteur G/T du satellite.

Les systèmes d'antenne de ces terminaux transportables devront être aussi simples que possible et avoir des dimensions telles qu'ils puissent être transportés par voie routière. Un système de poursuite ne devrait pas être nécessaire dans tous les cas. La pratique actuelle du service fixe par satellite semble indiquer que des antennes repliables de 4,5 m et des antennes repliables de 2,5 m répondraient aux normes de gabarit routier dans la plupart des cas. Pour une tolérance de maintien en poste de satellite de $\pm 0,1^\circ$, l'utilisation d'antennes plus grandes que 3 m aurait pour résultat une variation de puissance surfacique au satellite de plus de 3 dB en l'absence de poursuite automatique.

Toutefois, lorsqu'on considère la très lente dérive du satellite et le fait que l'utilisation de petites antennes transportables sera habituellement temporaire, l'hypothèse d'une dérive de $0,1^\circ$ au lieu de $0,28^\circ$, comme cas le plus défavorable, semble raisonnable. Ainsi, en supposant une variation de 3 dB de la puissance surfacique au satellite, seules des antennes de taille supérieure à 5 m nécessiteraient une poursuite automatique.

5.4 Régulation de puissance

La régulation de puissance sur les liaisons de connexion consiste en un réglage automatique rapide de la puissance des émetteurs des stations terriennes, qui compense l'affaiblissement que la pluie introduit sur le trajet du signal utile allant vers un satellite.

5.4.1 Application de la régulation de puissance

En présence de régulation de puissance sur la liaison de connexion, le niveau d'entrée du signal dans le répondeur du satellite est maintenu pratiquement constant et l'affaiblissement par la pluie le long du trajet de la liaison de connexion est effectivement compensé.

En conséquence, lorsqu'il ne pleut qu'à l'emplacement de la station de la liaison de connexion, l'utilisation de la régulation de puissance sur la liaison montante permet de maintenir une valeur constante du rapport C/N_T comme indiqué à la Fig. 7.

Des expériences menées avec le satellite japonais BSE ont fait la preuve de l'efficacité de la régulation de puissance pour maintenir un niveau presque constant de la porteuse utile par temps de pluie [CCIR, 1978-82e; Shimoseko et autres, 1981]. Dans ces expériences, une variation de 6 dB (crête-à-crête) de la puissance reçue par le satellite à 14 GHz a pu, grâce à la régulation de puissance, être ramenée à 1,5 dB (crête-à-crête); une variation quadratique moyenne de 1,5 dB a pu être ramenée à 0,5 dB.



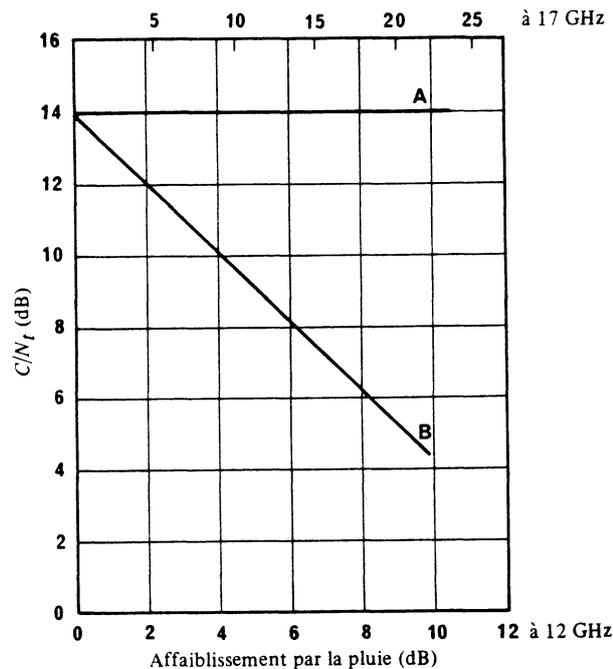


FIGURE 7 - Effet de l'affaiblissement par la pluie sur C/N_T en présence de régulation de puissance sur la liaison montante

C/N_u par atmosphère claire = 24 dB
 C/N_d par atmosphère claire = 14,5 dB

Courbes A: pluie à la station de la liaison de connexion seulement
 B: corrélation de la pluie à la station de la liaison de connexion et à la station de la liaison descendante

5.4.2. Conditions d'utilisation de la régulation de puissance sans augmentation de brouillage

Le présent paragraphe analyse l'utilisation de la régulation de puissance en vue d'augmenter la disponibilité des liaisons de connexion au-delà des valeurs utilisées pour la planification.

Dans [CCIR, 1982-86c, OHMI, K., 1985], on détermine les conditions qui permettent l'utilisation de la régulation de puissance sur une liaison de connexion brouilleuse sans dégradation de C/I sur la liaison brouillée au-dessous de la valeur obtenue lorsque les liaisons de connexion brouilleuses sont établies par ciel clair.

Dans l'étude des problèmes de brouillage des liaisons de connexion, les emplacements géographiques des stations terriennes brouilleuses et les zones de faisceau de liaison de connexion utiles sont des facteurs importants qui influent sur le C/I des liaisons de connexion. Ces facteurs influent sur le découplage de polarisations croisées (XPI_{sat}) de l'antenne du satellite "utile" puisque XPI_{sat} est une fonction du rapport de l'angle par rapport à l'axe principal (φ) à l'ouverture à mi-puissance du faisceau (φ_0).

Pour le diagramme de référence des antennes de réception des satellites de la Fig. 16, XPI_{sat} peut être représenté graphiquement comme dans la Fig. 8.

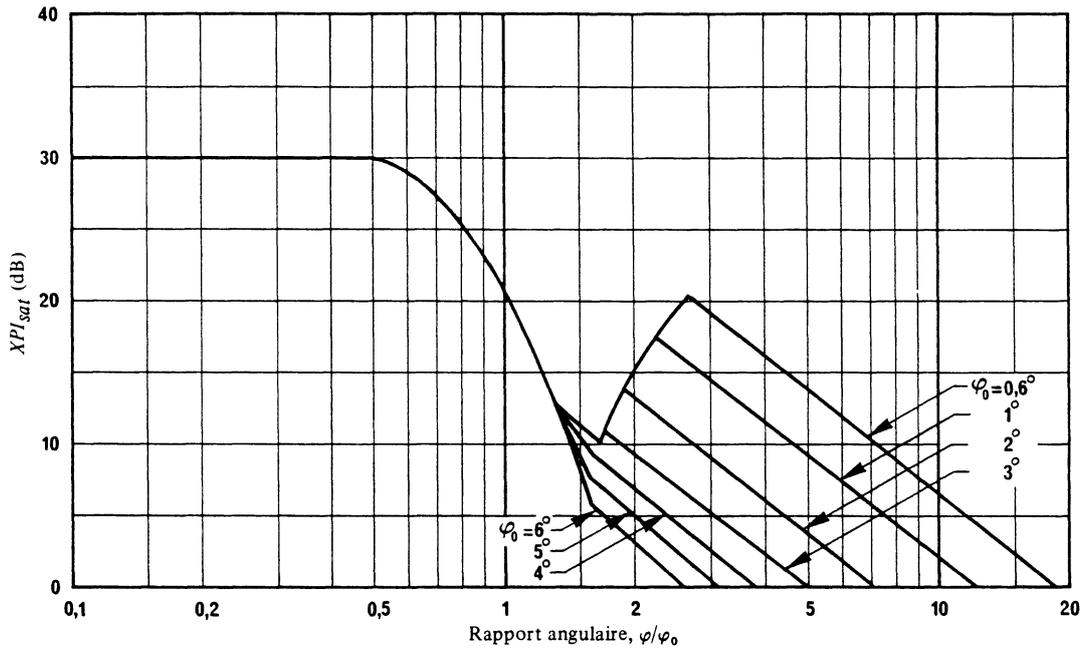


FIGURE 8 - Découplage de polarisations croisées (XPI_{sat}) de l'antenne de réception du satellite
(on admet les diagrammes de référence figurant à la Fig. 16)

(φ_0 : ouverture du faisceau à mi-puissance)

$$XPI_{sat} \text{ (dB)} - G_{rcwi} \text{ (dB)} - G_{rxwi} \text{ (dB)}$$

Afin d'étudier l'effet de XPI_{sat} sur le rapport C/I_u , l'équation du rapport C/I_u , qui contient explicitement le paramètre XPI_{sat} , est donnée dans l'équation (8).

$$\frac{C}{I_u} = \frac{P_w}{P_i} \cdot \frac{L_i}{L_w} \cdot \frac{R_i}{R_w} \cdot \frac{G_{rcww}}{G_{rcwi}} \cdot \frac{1}{A + \frac{1}{XPI_{sat}} + \frac{1}{XPI_{st}}} \quad (8)$$

où:

P_w : puissance d'émission à la station terrienne utile

P_i : puissance d'émission à la station terrienne brouilleuse

L_w : affaiblissement par étalement («en espace libre») sur le trajet utile

L_i : affaiblissement par étalement («en espace libre») sur le trajet brouilleur

R_w : affaiblissement par la pluie sur le trajet utile

R_i : affaiblissement par la pluie sur le trajet brouilleur

G_{rcww} : gain — copolaire de l'antenne de réception du satellite utile en direction de la station terrienne utile

G_{rcwi} : gain — copolaire de l'antenne de réception du satellite utile en direction de la station terrienne brouilleuse

A : coefficient de dépolarisation par la pluie, s'exprimant par l'équation suivante:

$A = 10^{-(XPD/10)}$, où XPD est la dépolarisation par la pluie figurant dans le § 3.4.2, exprimée en dB, en fonction de l'affaiblissement par la pluie et de l'angle de site

XPI_{sat} : rapport du gain — copolaire (G_{rcwi}) et du gain — contrapolaire (G_{rxwi}) de l'antenne de réception du satellite utile en direction de la station terrienne brouilleuse, s'exprimant par l'équation suivante:

$$XPI_{sat} = G_{rcwi} / G_{rxwi}$$

XPI_{st} : rapport du gain — copolaire (G_{tci}) et du gain — contrapolaire (G_{tci}) de l'antenne émettrice de la station terrienne brouilleuse en direction du satellite utile, s'exprimant par l'équation suivante:

$$XPI_{st} = G_{tci} / G_{tci}$$

Par conséquent, XPI_{sat} et XPI_{st} indiquent la capacité de découplage de polarisations croisées, respectivement pour l'antenne du satellite et pour l'antenne d'émission de la station terrienne.

L'amélioration du C/I (notée ΔM) sur la liaison brouillée peut être exprimée comme suit lorsque l'on applique la régulation de puissance sur une liaison brouilleuse :

$$\Delta M = \frac{C/I_{u, pluie}}{C/I_{u, claire}} = \frac{R_i}{\Delta P_i} \cdot \frac{1}{1 + \frac{A}{\frac{1}{XPI_{sat}} + \frac{1}{XPI_{st}}}} \quad (9)$$

où:

$C/I_{u, pluie}$: C/I_u quand il pleut sur l'emplacement de la station brouilleuse, entraînant un affaiblissement par la pluie R_i .

$C/I_{u, claire}$: C/I_u quand l'atmosphère est claire sur l'emplacement de la station brouilleuse, le rapport $C/I_{u, claire}$ étant considéré comme une référence pour C/I_u .

ΔP_i : augmentation de puissance de l'émetteur de la station terrienne par la régulation de puissance. S'il n'y a pas de régulation de puissance.

Les limites d'augmentation de puissance de l'émetteur de la station terrienne qui maintiennent ΔM (dB) à une valeur non négative, c'est-à-dire qui ne dégradent pas le C/I sur la liaison brouillée au-dessous de la valeur de C/I quand l'atmosphère est claire sur l'emplacement de la station brouilleuse, sont représentées en fonction de l'affaiblissement par la pluie par la courbe A de la Figure 9 dans le cas où XPI_{sat} est égal à 20 dB et où XPI_{st} est égal à 30 dB. La zone hachurée est la zone dans laquelle on peut augmenter la puissance d'émission de la quantité voulue. La courbe B donne un exemple des résultats escomptés avec un algorithme possible pour augmenter la puissance d'émission quand l'affaiblissement par la pluie s'accroît.

La régulation de puissance représentée par la courbe B de la Figure 9 permet d'obtenir la valeur positive de ΔM (dB) illustrée par la courbe B de la Figure 10, c'est-à-dire que le C/I sur la liaison brouillée est plus élevé - de la valeur indiquée - par temps de pluie que par ciel clair. La courbe A représente ΔM pour le cas où la régulation de puissance n'est pas utilisée et la courbe C représente ΔM pour le cas d'une régulation de puissance illustrée par la courbe A de la Figure 9.

Le Tableau IV récapitule d'autres exemples de combinaisons possibles entre l'augmentation de la puissance d'émission et l'affaiblissement par la pluie pour différentes valeurs de XPI_{sat} et de l'angle de site.

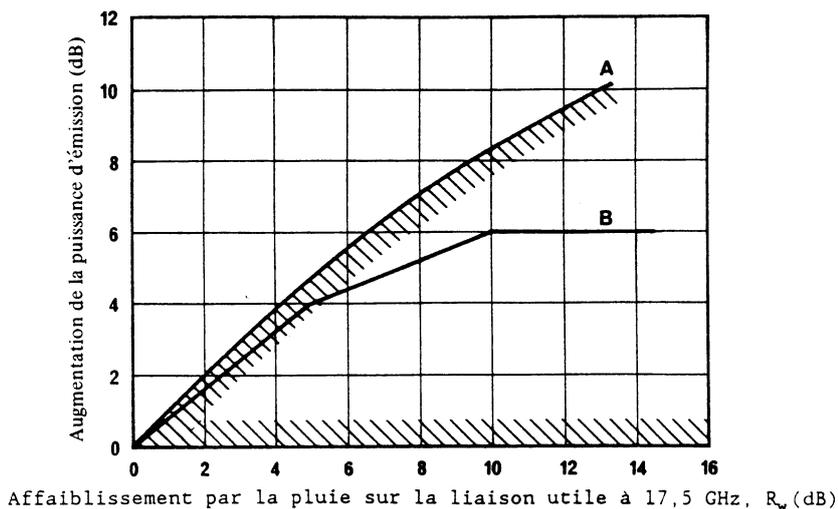


FIGURE 9 – Augmentation possible de la puissance d'émission pour la régulation de puissance

Courbes A: limite supérieure de la régulation de puissance
 B: exemple de régulation de puissance illustrée par le Tableau IV

$XPI_{sat} = 20$ dB
 $XPI_{st} = 30$ dB
 Angle de site: 50°

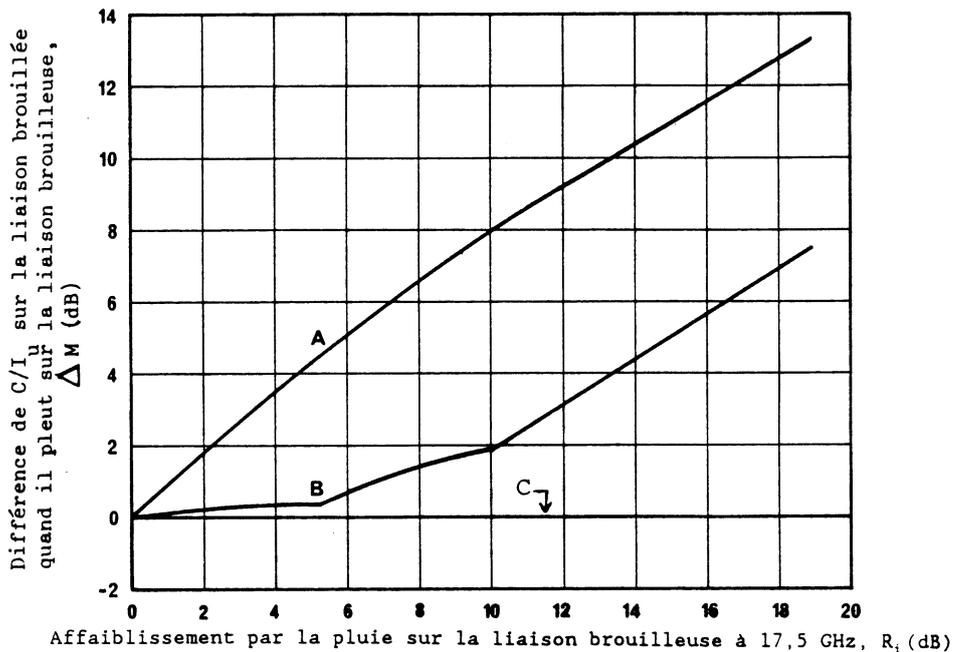


FIGURE 10 – Exemple de régulation de puissance

Courbes A: sans régulation de puissance
 B: avec régulation de puissance, correspondant à la courbe B de la Fig. 9
 C: limite supérieure de la régulation de puissance sans dégradation de C/I_u sur la liaison brouillée, correspondant à la courbe A de la Figure 9

$XPI_{sat} = 20$ dB
 $XPI_{st} = 30$ dB
 Angle de site: 50°

TABLEAU IV – Augmentation possible de la puissance d'émission d'une station terrienne permettant une régulation de puissance pour différentes valeurs de XPI_{sat} et de l'angle de site du satellite

XPI_{sat} (dB)	Angle de site du satellite (degrés)	Augmentation de la puissance d'émission de la station terrienne (dB)	
		Pour un affaiblissement par la pluie de 0 à 5 dB	Pour un affaiblissement par la pluie de 5 à 10 dB et plus
10 à 15	0 à 10	0	0
	10 à 30	0 à 4	4 à 7
	30 à 50	0 à 4	4 à 8
	50 à 60	0 à 5	5 à 9
	60 à 90	0 à 5	5 à 10
15 à 20	0 à 10	0	0
	10 à 30	0 à 2	2 à 4
	30 à 40	0 à 3	3 à 4
	40 à 50	0 à 3	3 à 6
	50 à 60	0 à 4	4 à 8
	60 à 90	0 à 5	5 à 9
20 à 25	0 à 30	0	0
	30 à 40	0 à 2	2
	40 à 50	0 à 3	3 à 4
	50 à 60	0 à 4	4 à 6
	60 à 90	0 à 5	5 à 8
25 à 30 ⁽¹⁾	0 à 40	0	0
	40 à 50	0 à 2	2
	50 à 60	0 à 3	3
	60 à 90	0 à 5	5

5.4.3 Utilisation de la régulation de puissance en cas de possibilités d'augmentation du brouillage

Certaines applications de la régulation de puissance peuvent entraîner une aggravation du brouillage. Des études ont montré [CCIR, 1978-82f] qu'on a la relation suivante pour la différence entre le niveau de brouillage avec utilisation de la régulation de puissance dans toutes les stations pour maintenir C/N à la valeur minimale requise et le niveau de brouillage sans régulation (dans ce dernier cas, toutes les stations fonctionnent avec une marge, M , suffisamment élevée pour couvrir le brouillage subi à tout instant, sauf pendant un très petit pourcentage de temps):

$$I_{pc} - I_{npc} = M_w - M_i + (CPA)_{i\ inst.} - (CPA)_{w\ inst.} \quad (10)$$

où:

- I_{pc} : brouillage avec régulation de puissance
- I_{npc} : brouillage sans régulation de puissance
- $(CPA)_{i\ inst.}$ et $(CPA)_{w\ inst.}$: affaiblissements copolaires instantanés, respectivement sur la liaison brouilleuse et sur la liaison «utile»
- M_w et M_i : marges, respectivement sur la liaison «utile» et sur la liaison brouilleuse. La différence des niveaux de brouillage (équation (10)) ne dépend pas de la valeur instantanée de la dépolarisation sur la liaison brouilleuse.

Pour la plupart des cas de brouillage et pendant la plus grande partie du temps, les effets du brouillage sur C/I_u sont identiques avec ou sans régulation de puissance si les conditions climatiques sont statistiquement similaires sur les deux trajets. Toutefois, il existe une différence nette selon que la régulation de puissance est utilisée ou inutilisée, et selon que la liaison de connexion est affectée de brouillage par temps de pluie sur son propre trajet ou par temps de pluie sur le trajet de la liaison de connexion brouilleuse.

Pour le brouillage copolaire dans le même canal, qui ne sera important que pour une grande séparation des zones de service de liaison de connexion, ou une grande séparation orbitale entre satellites, la régulation de puissance semblerait offrir certains avantages potentiels. Elle permettrait une réduction sensible de la puissance d'émission pendant de forts pourcentages de temps, d'où la possibilité de faire des économies à long terme sur l'énergie primaire de la station terrienne et d'améliorer la fiabilité de l'émetteur. Dans les cas examinés dans [CCIR, 1982-86d], l'utilisation de la régulation de puissance a augmenté les pourcentages de temps pendant lesquels les niveaux de C/I prévus pouvaient être maintenus.

Dans le cas de satellites copositionnés ayant des zones de service de liaison de connexion communes ou adjacentes et fonctionnant sur des canaux contrapolarisés adjacents, il faut tenir compte de la dépolarisation en analysant les effets de la régulation de puissance sur C/I .

L'effet de la régulation de puissance sur le rapport C/I contrapolaire est calculé en utilisant deux émetteurs identiques de station terrienne situés l'un et l'autre près de la limite à -3 dB de la zone de couverture de la liaison de connexion et orientés vers des satellites occupant le même emplacement. On admet un découplage de polarisation de 27 dB pour les antennes de réception de satellite et de 30 dB pour les antennes d'émission de station terrienne, la polarisation étant circulaire. Par atmosphère claire, en admettant une addition des tensions, on obtient un rapport C/I_u contrapolaire de brouillage unique de 21,2 dB. Admettons un angle de site de 40° et calculons le rapport C/I_u contrapolaire en fonction de l'affaiblissement par la pluie sur la liaison montante, pour les trois scénarios suivants:

- il pleut seulement sur l'emplacement de l'émetteur utile;
- il pleut à la fois sur l'emplacement de l'émetteur utile et sur celui de l'émetteur brouilleur;
- il pleut seulement sur l'emplacement de l'émetteur brouilleur.

On suppose que la régulation de puissance est utilisée aux deux emplacements.

Les résultats sont indiqués aux Fig. 11, 12 et 13 respectivement pour les scénarios 1, 2 et 3. Même si la CARR SAT-83 a adopté l'addition des tensions pour les calculs de C/I , ces figures ont été obtenues sur la base d'une addition des puissances. Ces figures montrent que l'emploi de la régulation de puissance sur la liaison utile — augmente le rapport C/I_u lorsqu'il pleut sur l'emplacement de l'émetteur utile, mais diminue le C/I_u lorsqu'il pleut sur l'emplacement de l'émetteur brouilleur. L'emploi de la régulation de puissance ne produit aucun effet sur le rapport C/I_u contrapolaire lorsqu'il pleut simultanément sur l'emplacement de l'émetteur brouilleur et sur celui de l'émetteur désiré.

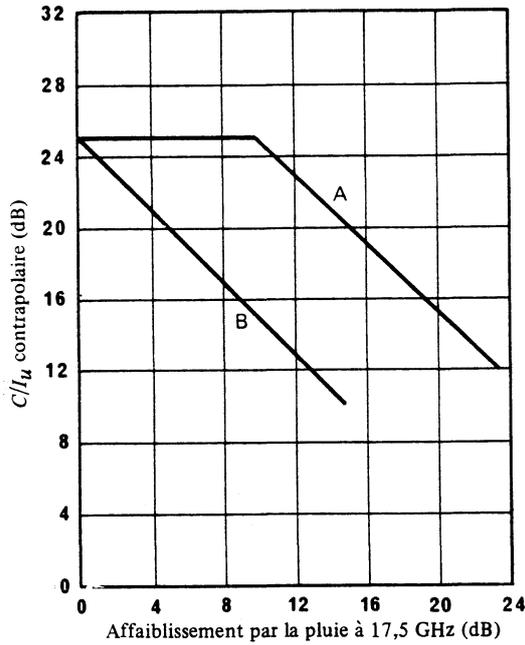


FIGURE 11 – Effet de la commande automatique de gain (CAG), ou de 10 dB de régulation de puissance, sur le rapport C/I_u contrapolaire, entre les liaisons de connexion à polarisation circulaire, à 17,5 GHz, lorsqu'il pleut seulement sur l'emplacement de l'émetteur utile (scénario a)

$XPI_{sat} = 27$ dB
 $XPI_{st} = 30$ dB

Courbes A: avec régulateur de puissance à 10 dB
 B: avec ou sans CAG sans régulation de puissance

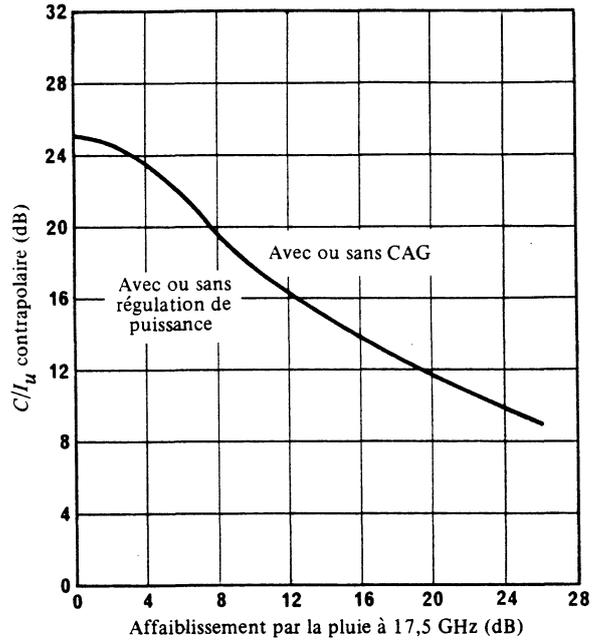


FIGURE 12 – Effet de la commande automatique de gain ou de la régulation de puissance sur le rapport C/I_u contrapolaire entre des liaisons de connexion à polarisation circulaire à 17,5 GHz lorsqu'il pleut simultanément sur les emplacements des émetteurs utile et brouilleur (scénario b))

$XPI_{sat} = 27$ dB
 $XPI_{st} = 30$ dB

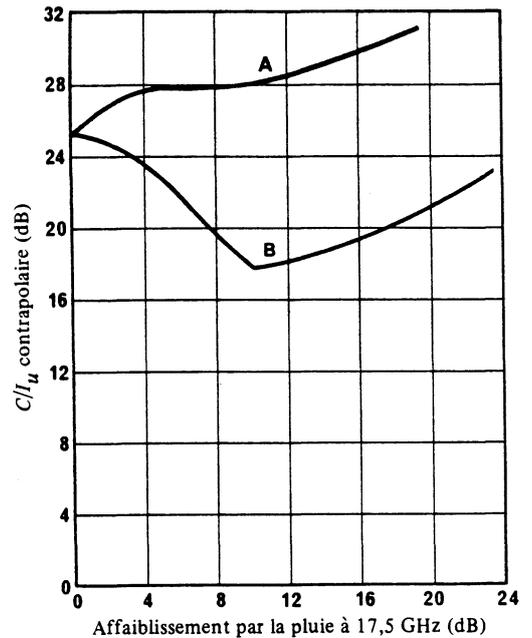


FIGURE 13 – Effet de la régulation de puissance sur le rapport C/I_u contrapolaire, entre des liaisons de connexion à polarisation circulaire, à 17,5 GHz, lorsqu'il pleut seulement sur l'emplacement de l'émetteur brouilleur (scénario c))

$XPI_{sat} = 27$ dB
 $XPI_{st} = 30$ dB

Courbes A: sans régulation de puissance
 B: avec régulation de puissance de 10 dB

5.4.4 Méthode de la CAMR-ORB(88) pour le calcul de la régulation de puissance dans les Régions 1 et 3

5.4.4.1 Conditions à respecter

Dans le plan pour les Régions 1 et 3, la régulation de puissance est autorisée selon la caractéristique de la Figure DD, pourvu que les brouillages causés à n'importe quelle autre liaison de connexion du plan n'entraînent pas une dégradation de son rapport C/I global en espace libre supérieure à 0,5 dB et que l'augmentation de puissance n'excède pas l'affaiblissement par la pluie prévu pendant 1 % du mois le plus défavorable, ou 10 dB.

5.4.4.2 Méthode de calcul

- a) Etablir la liste de toutes les assignations (A, B, C ...) d'autres administrations à la même position orbitale et aux deux positions adjacentes susceptibles d'être brouillées par l'assignation étudiée.
- b) Calculer la marge de protection équivalente de la liaison de connexion de l'assignation A dans des conditions en espace libre, en tenant compte de tous les brouilleurs de A dans l'arc visible aux points de mesure les plus défavorables, c'est-à-dire:
 - pour l'assignation A : le point correspondant au rapport minimum C/N
 - pour chaque brouilleur de A : le point correspondant au maximum de puissance de brouillage sur A.
- c) Calculer pour l'assignation étudiée l'affaiblissement dû à la pluie pour 0,1 % du mois le plus défavorable et la valeur correspondante de la dépolarisation due à la pluie (voir §§ 3.4.1 et 3.4.2 respectivement).
- d) Recalculer la marge de protection équivalente de la liaison montante de l'assignation A aux points de mesure les plus défavorables, c'est-à-dire :
 - pour l'assignation A : le point de mesure retenu au point b) ci-dessus
 - pour l'assignation étudiée : le point de mesure correspondant au maximum de puissance de brouillage sur A*.

A ce stade, la p.i.r.e. de l'assignation étudiée est celle qui est inscrite dans le plan.
- e) Augmenter la p.i.r.e. de l'assignation étudiée de 0,1 dB et recalculer la marge équivalente de la liaison montante de A comme au point d) ci-dessus.
- f) Répéter l'opération du point e) jusqu'à ce que la marge équivalente de la liaison montante de l'assignation A soit dégradée de plus de 0,5 dB par rapport à la valeur trouvée au point b) ci-dessus ou jusqu'à ce que l'augmentation de p.i.r.e. dépasse 10 dB ou l'affaiblissement dû à la pluie (voir le point c)). Retenir l'augmentation de p.i.r.e. au pas d'itération précédent.
- g) Répéter les opérations des points b) à f) ci-dessus, en considérant les assignations B, C, ...
- h) Retenir la plus petite des augmentations de p.i.r.e. trouvées au point f) ci-dessus pour les différentes assignations A, B, C ...

* Ce point de mesure peut être différent de celui retenu au point b).

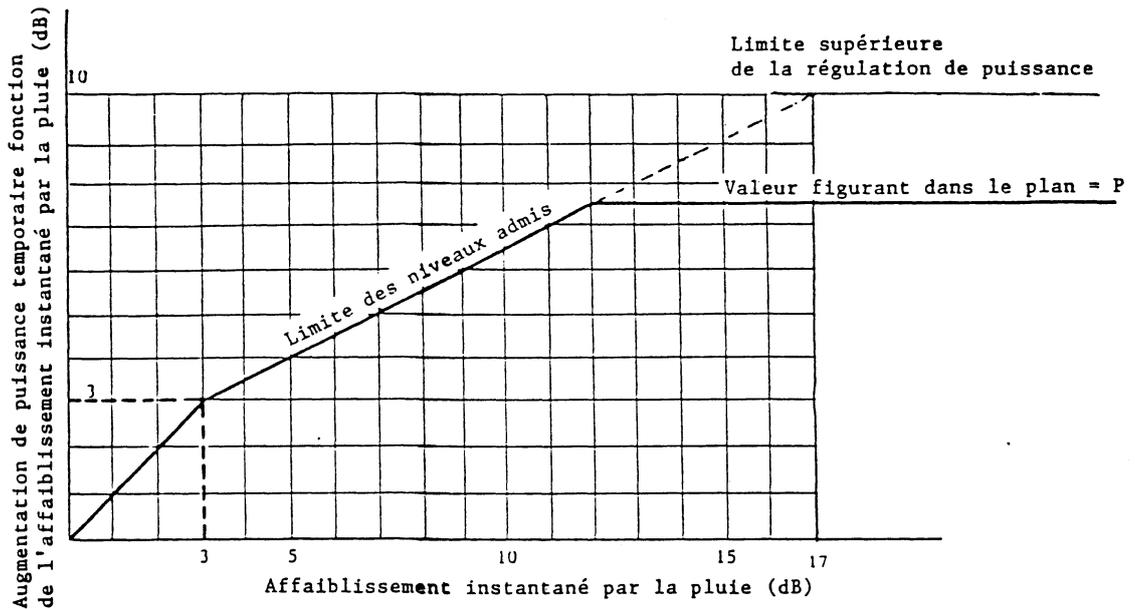


FIGURE 14

Caractéristique de la régulation de puissance
pour les liaisons de connexion

Note:

P: Valeur de l'augmentation autorisée figurant dans le plan des liaisons de connexion pour les Régions 1 et 3 et variable selon les assignations. La limite supérieure de cette valeur est 10 dB.

5.4.5 Conclusions

Une application de la régulation de puissance consisterait à augmenter la disponibilité de la liaison de connexion au-dessus de la disponibilité utilisée pour la planification. Dans cette application, l'augmentation de puissance se limiterait à un pourcentage qui, dans l'hypothèse d'une mise en oeuvre parfaite, n'entraînerait aucune augmentation du brouillage causé aux autres liaisons de connexion.

Une autre utilisation de la régulation de puissance consisterait à réduire au minimum la puissance d'émission requise sauf pendant de faibles pourcentages de temps. La régulation de puissance serait utilisée, plutôt qu'une marge fixe pour compenser l'affaiblissement par la pluie. Le brouillage causé aux autres liaisons de connexion pourrait dépasser la valeur par ciel clair.

L'utilisation de la régulation de puissance conforme à cette dernière application ————— pour conserver des rapports donnés C/N et C/I en présence d'un affaiblissement par la pluie a manifestation des avantages et des inconvénients dans le cas de satellites contrapolarisés copositionnés. D'une part, C/I est amélioré quand il pleut sur le trajet utile; d'autre part, il est dégradé quand il pleut sur le trajet brouilleur. La diminution due à la pluie de C/I sur le trajet utile est égale à l'affaiblissement par la pluie en l'absence de régulateur de puissance. Les Fig. 11 à 13 montrent que la diminution de C/I due à la pluie sur le trajet brouilleur est inférieure à l'affaiblissement par la pluie quand la régulation de puissance est utilisée. Dans les études faites dans [CCIR, 1982-86d] ce résultat est vérifié et il est calculé que la différence de dégradation du rapport C/I est égale à 4,3 dB pour un évanouissement dû à la pluie de 10 dB, une dépolarisation correspondant à un évanouissement dû à la pluie de 10 dB et un angle de site de la liaison de connexion égal à 30°.

Le résultat ci-dessus montre que la régulation de puissance offre la possibilité d'atténuer le problème du brouillage par le canal contrapolaire adjacent dans le cas de satellites copositionnés. En étant combiné avec la compensation pour dépolarisation (§ 5.5), la régulation de puissance pourrait encore réduire la variation de C/I en présence de pluie.

Certains inconvénients peuvent résulter des méthodes susmentionnées utilisant la régulation de puissance pour réduire au minimum la dégradation du rapport C/I due à des effets atmosphériques. Toutes les stations de liaison de connexion doivent utiliser la régulation de puissance pour en retirer les avantages. En outre, le contrôle de l'environnement de brouillage passe de la liaison de connexion sur le trajet perturbé à la liaison de connexion sur le trajet brouilleur.

L'utilisation optimale de la régulation de puissance sur la liaison montante nécessite des mesures précises de l'affaiblissement dû aux précipitations. La précision de ces mesures est essentielle si l'on veut maintenir la densité de flux de puissance optimale au satellite, garantissant ainsi une exploitation optimale au niveau d'entrées requis. Quatre méthodes peuvent être appliquées à cette fin, chacune ayant ses difficultés propres. Si l'on veut appliquer la régulation de puissance sur la liaison montante, il convient d'adopter la méthode la plus appropriée aux spécifications particulières du système utilisé.

Des méthodes de compensation des effets de la pluie sur les liaisons montantes sont décrites dans l'Annexe III.

5.5 Compensation pour dépolarisation

La compensation pour dépolarisation est le réglage rapide et automatique de la polarisation des signaux de la liaison de connexion à partir des stations terriennes afin de maintenir la polarisation désirée à l'antenne réceptrice du satellite quelles que soient les conditions atmosphériques. Des études théoriques montrent qu'il est possible de maintenir la composante contrapolaire d'un signal à polarisation circulaire de 18 GHz à 25 dB en dessous de la composante copolaire [CCIR, 1978-82g; Fromm et McEwan 1981; Bradford Université, 1981], à la fois par atmosphère claire et en cas de précipitations (pluie ou glace). Cette technique pourrait être appliquée moyennant un léger supplément d'équipement à la station d'émission.

La compensation de dépolarisation semblerait intéressante pour les liaisons de connexion avec des satellites de radiodiffusion seulement si l'on emploie la régulation de puissance et seulement pour des satellites copositionnés. Dans le cas où le contrôle de puissance n'est pas utilisé, une augmentation du brouillage se produirait seulement par dépolarisation par la glace en l'absence d'affaiblissement par la pluie sur le trajet brouilleur. L'augmentation du brouillage devrait se produire en même temps que le signal désiré est affaibli à sa valeur pour 1% du mois le plus défavorable pour qu'il en résulte un C/I insatisfaisant. La probabilité combinée d'apparition des deux événements est inférieure à 1% du mois le plus défavorable.

Le seul moyen d'obtenir les améliorations majeures du rapport C/I sur les liaisons de connexion très vulnérables au brouillage consiste à appliquer conjointement la régulation de puissance et la compensation de dépolarisation. Des études ont montré que ces techniques peuvent être mises en œuvre à tout moment, pourvu que l'on dispose d'une station terrienne d'émission appropriée, et elles n'entraînent aucune répercussion sur les caractéristiques du satellite [CCIR, 1978-82g; Fromm et McEwan, 1981; Bradford University, 1981]. Bien entendu, lorsque les conditions de propagation sont défavorables, il faut porter la p.i.r.e. des stations terriennes à des valeurs supérieures au niveau maximal correspondant à la propagation par atmosphère claire. Une autre étude a montré que cette technique est compatible avec les caractéristiques d'un plan de liaisons de connexion basé sur le principe de l'utilisation de p.i.r.e. maximales dans les stations terriennes d'émission des liaisons de connexion [CCIR, 1982-86e].

5.6 Fonctionnement en diversité des liaisons de connexion

Il existe une abondante documentation sur la technique de diversité d'espace qui permet d'augmenter la disponibilité des liaisons par satellite. Le Rapport 564 indique que la probabilité d'affaiblissement dépassée simultanément en deux emplacements est inférieure à la probabilité pour que le même affaiblissement soit dépassé en l'un des emplacements dans une proportion décroissant avec l'augmentation de la distance entre les emplacements et avec l'augmentation de l'affaiblissement. La probabilité combinée relative est définie comme étant le rapport de la première probabilité à la seconde probabilité; elle est représentée à la Fig. 15 pour des affaiblissements d'au plus 10 dB et des espacements ne dépassant pas 25 km, sur la base d'une répartition log-normale des cellules de pluie [Strickland, 1974]. On remarque que, pour toute distance donnée entre emplacements, la probabilité combinée relative décroît rapidement avec l'affaiblissement et reste à peu près constante pour un affaiblissement supérieur à 10 dB environ. Cette probabilité combinée est utilisée pour illustrer l'effet de la diversité d'emplacement sur les rapports C/N_u et, C/I_u contrapolaire.

L'obtention de valeurs élevées de C/N_u lorsqu'il pleut est déterminé essentiellement par l'affaiblissement par la pluie lorsqu'il pleut seulement sur l'emplacement de l'émetteur utile. Ce scénario de la pluie est considéré comme le cas le plus défavorable, étant donné que les deux rapports C/N_u et C/I_u diminuent du même nombre de dB lorsqu'il pleut. La Fig. 15 montre que, dans ces conditions les plus défavorables, l'utilisation de la diversité d'espace avec des stations fonctionnant en diversité, espacées d'au moins 10 km, permettrait d'obtenir au minimum un facteur d'amélioration de 10 dans l'obtention des valeurs élevées de C/N_u et C/I_u pour des valeurs d'affaiblissement supérieures à 5 dB environ. Autrement dit, on pourrait faire en sorte que les rapports C/N_u et/ou C/I_u , dépassés pendant 99% du mois le plus défavorable sans diversité d'espace (en supposant un affaiblissement d'au moins 5 dB) correspondent à une disponibilité donnée, dépassée pendant 99,9% du mois le plus défavorable en utilisant la diversité d'espace avec des stations en diversité espacées d'au moins 10 km. Il est possible d'obtenir un facteur d'amélioration supplémentaire de 10 de la disponibilité avec des stations en diversité espacées d'au moins 20 km. Il est évident que l'utilisation de la diversité d'espace est particulièrement avantageuse lorsque la combinaison de l'intensité de la pluie et des angles de site donne des valeurs élevées de l'affaiblissement du signal, en effet la probabilité combinée relative décroît vers un minimum lorsque l'affaiblissement augmente et ce pour n'importe quelle distance donnée entre les stations fonctionnant en diversité.

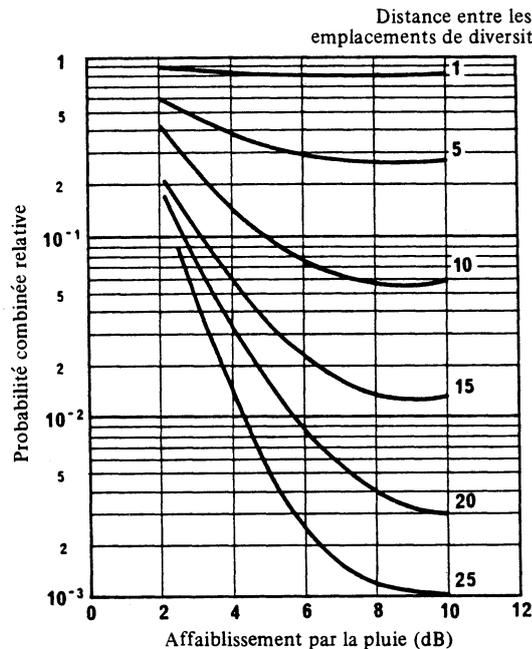


FIGURE 15 – Probabilité combinée relative de la diversité d'espace en fonction de l'affaiblissement par la pluie et de la distance entre les emplacements de diversité

L'utilisation de la diversité d'espace peut seulement accroître l'obtention de valeurs élevées de C/N_u et C/I_u par rapport aux valeurs calculées dans un plan fondé sur une station unique de liaison de connexion. Par conséquent, le Plan pour la Région 2 permet l'utilisation de la diversité d'espace dans la mise en œuvre des liaisons de connexion.

Bien que l'emploi de la diversité d'espace permette de compenser efficacement les effets de la pluie et de la dépolarisation, le coût et la complexité des stations fonctionnant en diversité d'espace peuvent être importants. L'utilisation de la diversité pour les stations transportables est particulièrement problématique du point de vue du coût et de la complexité de l'exploitation.

6. Caractéristiques de l'antenne de réception du satellite

Les caractéristiques de l'antenne de réception du satellite sont, dans une large mesure, déterminées par le type de service envisagé dans le SRS. L'antenne de réception peut être réalisée de différentes manières, selon son utilisation au sein du système: ouverture fixe distincte, ouverture orientable distincte, alimentations distinctes avec ouverture commune, et alimentation partagée avec ouverture commune.

La conception des antennes de satellite est traitée dans le Rapport 558; pour la polarisation, de plus amples détails figurent dans le Rapport 555.

Le Rapport 558 décrit des méthodes de mise en forme des faisceaux et le Rapport 810 traite de progrès de la technologie des antennes qui permettent de réduire les niveaux de rayonnement à l'extérieur de la zone de service désirée.

6.1 *Utilisation de la même antenne pour la liaison de connexion et la liaison descendante*

Du point de vue du coût, de la complexité et du poids de l'engin spatial, il serait avantageux d'avoir une antenne d'émission/réception commune. Dans ce cas, le gain contrapolaire, la largeur de faisceau, la précision de pointage et le diagramme de rayonnement dépendraient des caractéristiques de l'antenne de la liaison descendante. Lorsque les zones de service de la liaison de connexion et de la liaison descendante ne se chevauchent pas, les diagrammes de référence de la CAMR-RS-77 qui figurent dans le Rapport 810 s'appliquent aux faisceaux non modelés de section circulaire ou elliptique, sauf pour un fonctionnement contrapolaire dégradé. Pour les faisceaux modelés, le nouveau diagramme possible s'appliquerait.

Quand des faisceaux modelés sont utilisés pour des zones de service de liaison de connexion et de liaison descendante qui se chevauchent, le système d'alimentation du récepteur de la liaison de connexion coïncide géométriquement avec celui de la liaison descendante, de sorte qu'il doit être partagé. On dispose de très peu de données en ce qui concerne les caractéristiques des antennes sur une aussi large gamme de fréquences qu'entre 12 et 18 GHz. La principale difficulté sera la caractéristique contrapolaire et la limitation des lobes latéraux de la liaison de connexion. La performance de la liaison de connexion dépend de façon critique d'une valeur élevée de la discrimination contrapolaire. Il faut apporter du soin à la conception de l'antenne du satellite de façon à éviter une dégradation de 3 à 5 dB de la performance contrapolaire.

Selon les Rapports 558 et 810, il faut se rappeler qu'une configuration d'antenne particulière est plus facile à optimiser quand il n'y a qu'une bande de fréquences. Quand les liaisons de connexion et les liaisons descendantes sont desservies par une antenne commune et que les bandes de fréquences sont dans le Rapport 1,5:1, le gain minimal résultant est inférieur d'environ 0,5 dB à la valeur optimale que l'on peut obtenir dans la zone de service avec des antennes séparées.

6.2 *Utilisation d'antennes distinctes pour la liaison de connexion et la liaison descendante*

Des antennes de réception distinctes donneraient plus de liberté pour le choix de la fréquence de la liaison de connexion, la polarisation et la zone de service.

Une antenne de liaison de connexion distincte à ouverture fixe est le parallèle exact de l'antenne de liaison descendante, et sa performance doit donc être identique et les mêmes diagrammes sont applicables si l'on porte le même soin à sa conception.

Il peut être souhaitable d'exploiter un très grand nombre de petites stations de connexion fixes ou transportables depuis une zone de service de liaison de connexion plus petite, de même taille ou même plus grande que la zone de service de la liaison descendante. Dans ce cas, une antenne de réception distincte et orientable sur le satellite serait utile. Par exemple, pour simplifier la conception, l'antenne pourrait être petite, de l'ordre de 1,5 m de diamètre, et être mécaniquement orientable. Cependant, les lobes latéraux et la performance contrapolaire pourraient être dégradés en raison du brouillage causé par les alimentations et leur support, si l'on utilise une alimentation à foyer principal. En raison du découplage nécessaire des liaisons de connexion, il est important d'utiliser des alimentations décalées pour éviter une dégradation de la discrimination contrapolaire et des lobes latéraux jusqu'aux alentours de 25 dB.

6.3 *Dimensions et ouverture de faisceau de l'antenne*

L'ouverture de faisceau de l'antenne de réception du satellite dépend avant tout des emplacements des stations terriennes associées aux liaisons de connexion. Dans un cas extrême, on pourra avoir une seule station terrienne fixe, implantée le plus souvent près du centre de la zone de service mais, dans certains cas, à l'extérieur de cette zone. A l'autre extrême, on pourra avoir un très grand nombre de petites stations fixes ou transportables, placées en un point quelconque de la zone de service du satellite de radiodiffusion ou même, dans certains cas, à l'extérieur de la zone de service de la liaison descendante.

Si on a une seule station terrienne, ou si les emplacements des stations terriennes sont contenus dans une zone géographique peu étendue, une étude générale effectuée en France pour la Région 1 [CCIR, 1978-82h] a montré qu'il serait extrêmement avantageux, au point de vue du brouillage, d'utiliser des antennes de satellite à faisceau étroit (par exemple un faisceau de 0,6°). On pourrait aussi, de ce fait, obtenir une diminution de la p.i.r.e. des stations terriennes, en augmentant le facteur de qualité G/T du satellite. Des antennes orientables à faisceau étroit peuvent également être avantageuses pour améliorer le brouillage et augmenter le G/T du satellite.

Considérons maintenant le cas où plusieurs stations terriennes associées à une liaison de connexion rayonnent simultanément à partir de points disséminés sur toute l'étendue de la zone de service, de la liaison descendante, ou même extérieurs à cette zone comme cela pourrait être le cas dans les systèmes à satellites multifaisceaux pour la radiodiffusion de programmes nationaux à partir de points situés à l'intérieur d'un pays; on peut distinguer deux cas:

- si l'accès doit être assuré à partir d'un seul emplacement ou d'un petit nombre d'emplacements connus, on pourra prévoir une zone de service peu étendue, desservie par une petite antenne réceptrice de satellite à faisceau ponctuel;
- si les emplacements des émetteurs nationaux ne sont pas connus avant l'établissement du plan, ou si l'on souhaite pouvoir accéder au satellite à partir d'un point quelconque du territoire du pays – par exemple, à partir de stations transportables – il faudra prévoir, pour les liaisons de connexion, une zone de service étendue à tout le pays.

Les valeurs du gain de l'antenne de réception du satellite, à la limite de zone de couverture à -3 dB, varient d'environ 28 dBi pour un faisceau de liaisons de connexion de $3^\circ \times 8^\circ$ couvrant tout le pays, de 45 dBi pour un petit faisceau étroit de $0,6^\circ$ de diamètre.

6.4 Précision de pointage des antennes

Les Actes finals de la CAMR-RS-77 imposent une stabilité de pointage de l'antenne d'émission du satellite meilleure que $0,1^\circ$. La précision de pointage est aussi une caractéristique importante des antennes de réception, notamment pour celles qui reçoivent des faisceaux étroits.

L'étude française [CCIR, 1978-82h] donne des indications chiffrées sur l'effet produit lorsqu'on assouplit les exigences imposées à la précision de pointage de l'antenne de réception du satellite ($0,2^\circ$ au lieu de $0,1^\circ$). Cette étude a donné le résultat suivant, tout au moins pour le Plan de la CAMR-RS-77 et dans l'hypothèse où chaque station terrienne pour la liaison de connexion se trouve au centre du faisceau correspondant spécifié dans ce Plan: si l'erreur de pointage d'une antenne de réception passe de $0,1^\circ$ à $0,2^\circ$, cela n'aggrave pas sensiblement les brouillages.

Dans le cas où une seule antenne serait utilisée pour l'émission et la réception, la précision de pointage de $0,1^\circ$ pour l'antenne de réception est stipulée par les dispositions du Règlement des radiocommunications. Si on a deux réflecteurs séparés pour l'émission et la réception, une solution consiste à articuler le réflecteur par rapport au corps du satellite et à orienter l'antenne d'émission à l'aide d'un mécanisme de pointage automatique par détection d'une balise terrestre radiofréquence. Ce système d'orientation précise d'antenne permet de stabiliser un réflecteur émetteur à mieux de $0,1^\circ$.

On peut obtenir la précision de pointage de $0,2^\circ$ indiquée plus haut en utilisant des signaux fournis par le système de commande de l'antenne d'émission décrite précédemment [CCIR, 1978-82i].

Toutefois, étant donné que les tolérances sur l'erreur de pointage sont, de ce fait, plus grandes, il est nécessaire d'utiliser des antennes de plus petit diamètre (c'est-à-dire à faisceau plus large) afin de couvrir la zone de service, ce qui nuit à la réutilisation des fréquences.

Le Rapport 558 analyse l'effet de la précision de pointage sur la variation du gain dans une zone de service donnée.

On pense que des précisions de pointage de $\pm 0,1^\circ$ en direction et de $\pm 1^\circ$ en rotation par rapport à l'axe du faisceau sont faciles à obtenir et qu'elles peuvent être utilisées pour la planification. Ces tolérances seraient cohérentes avec les tolérances suggérées pour l'antenne d'émission du satellite sur la liaison descendante.

6.5 Diagrammes de rayonnement de référence

Dans la mesure où la même technologie serait utilisée pour les antennes d'émission et de réception des satellites, il serait souhaitable de retenir pour les deux antennes les mêmes diagrammes de référence. Néanmoins, une plus grande tolérance existe pour l'antenne de réception en ce qui concerne la pureté de polarisation et les lobes latéraux. C'est ce qu'ont montré plusieurs études effectuées par l'ESA et l'UER [CCIR, 1978-82j], par la France [CCIR, 1978-82i] et par le Japon [CCIR, 1978-82k]. Dans ces études, on a considéré le brouillage pour un plan de liaisons de connexion transposé directement à partir du Plan de la CAMR-RS-77, avec les hypothèses suivantes pour les caractéristiques des antennes de réception:

- diagrammes d'antenne spécifiés par la CAMR-RS-77, pour la composante copolaire et la composante contrapolaire;
- premier lobe latéral de la composante copolaire plus élevée;
- composante contrapolaire plus élevée, au voisinage de l'axe du faisceau.

Ces études montrent que dans le Plan de la CAMR-RS-77 il n'y aura pas nécessairement une augmentation sensible du brouillage si on ramène la composante contrapolaire près de l'axe du faisceau, à -33 dB ou même à -30 dB au-dessous du gain de l'antenne dans l'axe. Cette conclusion ne s'applique pas à la Région 2.

Pour ce qui est de la composante copolaire, un assouplissement maximal de 10 dB dans le premier lobe latéral n'entraîne pas nécessairement une augmentation notable du brouillage entre les liaisons de connexion de la Région 1, ni sur la plupart des liaisons de connexion de la Région 3, à la réserve suivante près: pour certaines positions orbitales de la Région 3, la valeur la plus défavorable du rapport porteuse/brouillage dans le canal adjacent pourrait être dégradé de 4,2 dB, mais cette dégradation elle-même ne sera pas toujours significative.

Dans le cas de satellites copositionnés desservant une zone de service commune ou des zones de service adjacentes sur des canaux contrapolaires adjacents, la pureté de polarisation peut être critique pour obtenir les rapports C/I nécessaires.

Quand une antenne à décroissance (roll-off) rapide ou à faisceau modelé a été utilisée pour l'émission, afin de favoriser la réutilisation des fréquences, une antenne à décroissance (roll-off) rapide ou à faisceau modelé peut aussi être nécessaire pour la réception. La coupure des lobes latéraux de l'antenne de réception doit être rapide pour éviter des conséquences défavorables sur la séparation des zones de service nécessaire pour la réutilisation des fréquences.

Dans le cas de la planification de la Région 2 faite à la CARR SAT-83, les mêmes diagrammes de référence ont été utilisés pour les antennes de réception et d'émission des satellites. Ces diagrammes copolaires et contrapolaires sont décrits, dans le Rapport 810.

Pour les Régions 1 et 3, la CAMR ORB-88 a adopté les caractéristiques décrites ci-dessous.

6.5.1 Antenne de réception du satellite

Si l'on utilise une antenne d'émission et de réception commune, le gain contrapolaire, l'ouverture de faisceau, la précision de pointage et le diagramme de rayonnement dépendent des caractéristiques de l'antenne de la liaison descendante.

Si l'on utilise des antennes séparées pour l'émission et pour la réception, les paramètres de l'antenne de réception doivent être ceux donnés aux paragraphes suivants. L'utilisation d'antennes de réception séparées offre une plus grande souplesse en termes d'indépendance à l'égard de la fréquence de la liaison de connexion, de la polarisation et de la zone de service.

6.5.2 Section transversale du faisceau de l'antenne de réception

La planification initiale doit être fondée sur l'hypothèse de faisceaux à section transversale elliptique ou circulaire. Lorsque la section transversale du faisceau de l'antenne de réception est elliptique, l'ouverture de faisceau équivalente φ_0 est une fonction de l'angle de rotation entre, d'une part, le plan contenant le satellite et l'axe principal de la section transversale du faisceau et, d'autre part, le plan dans lequel l'ouverture de faisceau est requise.

La relation entre le gain maximal d'une antenne et l'ouverture de faisceau à demi-puissance peut être déduite de l'expression:

$$G_m = 27\,843/ab$$

ou

$$G_m \text{ (dB)} = 44,44 - 10 \log a - 10 \log b$$

où:

a et b désignent les angles (en degrés) sous-tendus au satellite par le petit et le grand axes de la section transversale elliptique du faisceau.

Une valeur minimale de $0,6^\circ$ pour l'ouverture du faisceau à demi-puissance est adoptée pour la planification, sauf lorsqu'une administration demande une valeur inférieure pour ses propres faisceaux.

6.5.3 Diagramme de référence copolaire

Le diagramme de référence copolaire de l'antenne est obtenu grâce à la formule suivante:

Gain relatif copolaire (dB) (voir la Fig. 16, courbe A)

$$\begin{aligned} G &= -12 (\varphi/\varphi_0)^2 && \text{pour } 0 \leq \varphi/\varphi_0 \leq 1,30 \\ G &= -17,5 - 25 \log (\varphi/\varphi_0) && \text{pour } \varphi/\varphi_0 > 1,30 \end{aligned}$$

Après intersection avec la courbe C: comme la courbe C (la courbe C correspond à l'opposé du gain dans l'axe).

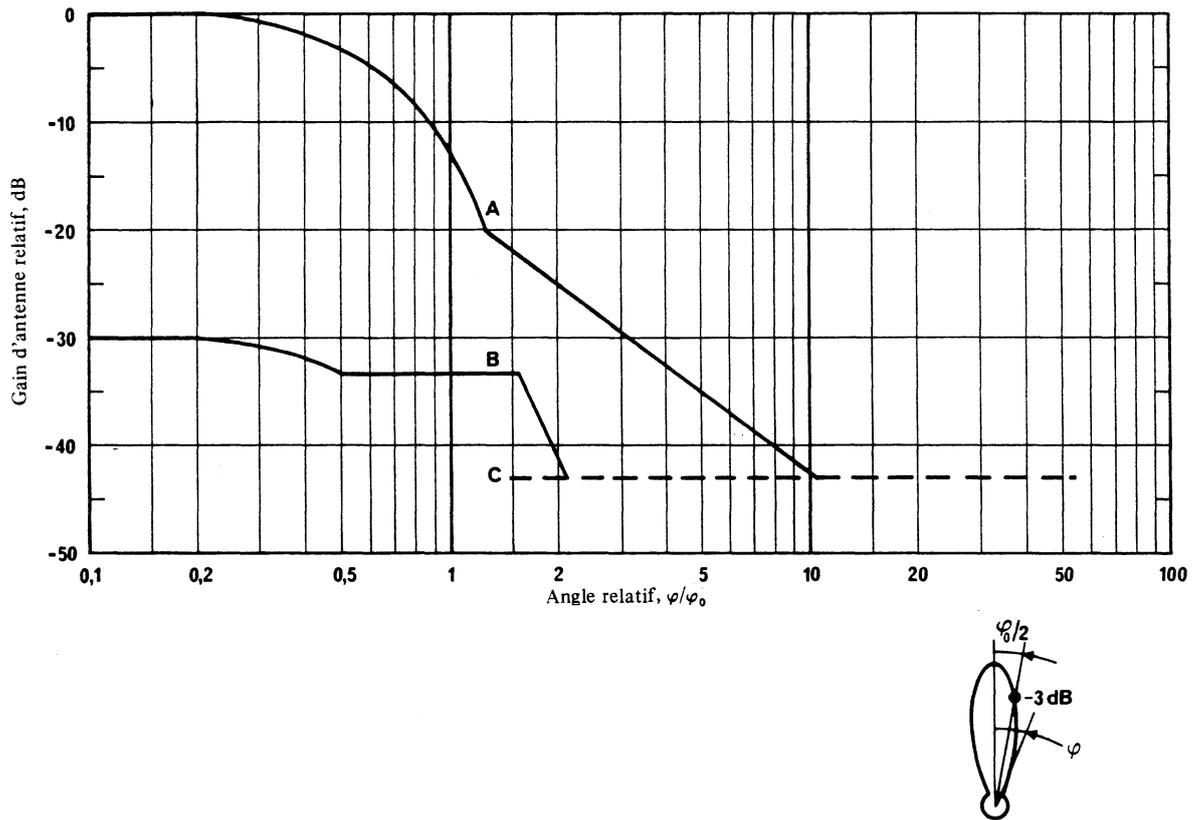


FIGURE 16 – *Diagramme de référence de l'antenne de réception de satellite pour les Régions 1 et 3 adopté par la CAMR ORB-88*

- Courbes A: composante copolaire (voir le § 6.5.3)
 B: composante contrapolaire (voir le § 6.5.4)
 C: opposé du gain dans l'axe (la courbe C représentée dans cette figure correspond au cas particulier d'une antenne avec un gain dans l'axe de 43 dBi)

Note. – Ce diagramme de référence de l'antenne de réception diffère du diagramme adopté par la CAMR-RS-77 pour l'antenne d'émission.

6.5.4 *Diagramme de référence contrapolaire*

Le diagramme de référence contrapolaire est obtenu grâce à la formule suivante:

Gain contrapolaire relatif (dB) (voir la Fig. 16, courbe B)

$$\begin{aligned}
 G &= -30 - 12 (\varphi/\varphi_0)^2 && \text{pour } 0 \leq \varphi/\varphi_0 \leq 0,5 \\
 G &= -33 && \text{pour } 0,5 < \varphi/\varphi_0 \leq 1,67 \\
 G &= - [40 + 40 \log |\varphi/\varphi_0 - 1|] && \text{pour } \varphi/\varphi_0 > 1,67
 \end{aligned}$$

Après intersection avec la courbe C: comme la courbe C (la courbe C correspond à l'opposé du gain dans l'axe).

6.5.5 Emploi d'antennes à flanc raide

Le diagramme représenté à la Figure 17 a été utilisé pour certaines assignations dans le but de réduire les brouillages copolaires. Ce diagramme est établi à partir d'une antenne produisant un faisceau elliptique dont le lobe principal est à flanc raide. On présente à titre d'exemples trois courbes correspondant à des valeurs différentes de φ_0 .

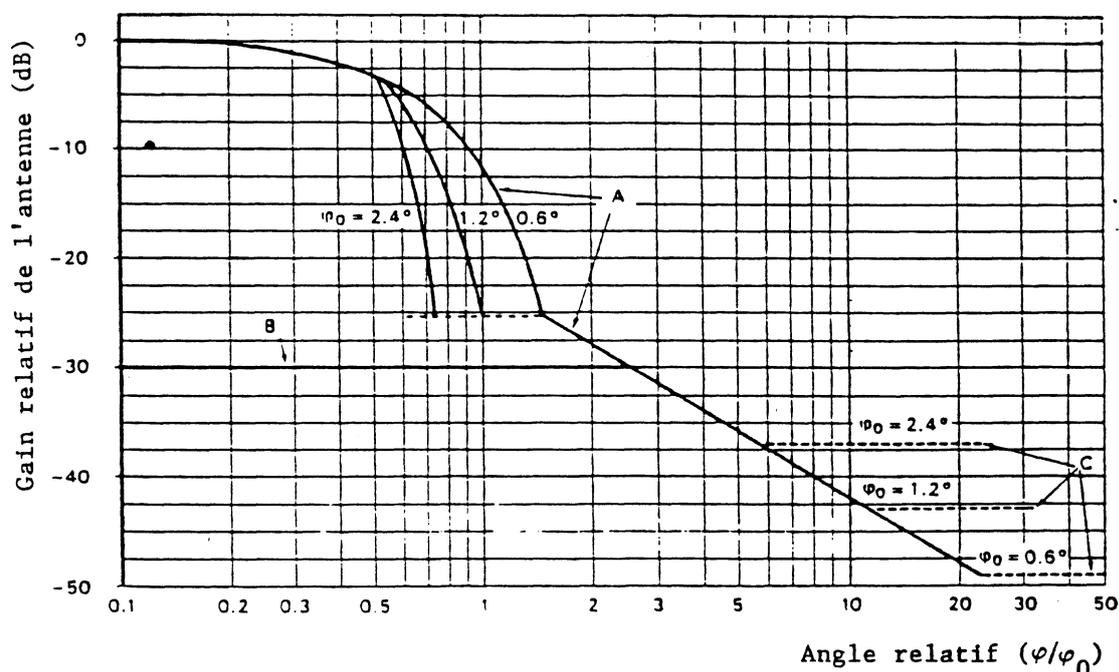


FIGURE 17

Diagrammes de référence des composantes copolaire et contrapolaire de l'antenne de réception du satellite, avec un faisceau principal à flanc raide dans les Régions 1 et 3

Courbe A : composante copolaire (dB par rapport au gain dans le lobe principal)

$$\begin{aligned}
 & -12 (\varphi/\varphi_0)^2 && \text{pour } 0 \leq \varphi/\varphi_0 \leq 0,5 \\
 & -33,33 \varphi_0^2 (\varphi/\varphi_0 - x)^2 && \text{pour } 0,5 < \varphi/\varphi_0 \leq 0,87/\varphi_0 + x \\
 & -25,23 && \text{pour } 0,87/\varphi_0 + x < \varphi/\varphi_0 \leq 1,413 \\
 & -(22 + 20 \log (\varphi/\varphi_0)) && \text{pour } \varphi/\varphi_0 > 1,413
 \end{aligned}$$

après le point d'intersection avec la courbe C : confondue avec celle-ci.

Courbe B : composante contrapolaire (dB par rapport au gain dans le lobe principal)

$$-30 \text{ pour } 0 \leq \varphi/\varphi_0 < 2,51$$

après le point d'intersection avec la courbe A : confondue avec celle-ci.

Courbe C : Moins le gain sur l'axe (les courbes A et C représentent des exemples pour trois antennes ayant les différentes valeurs φ_0 indiquées Figure 17. Les gains dans l'axe de ces antennes sont respectivement 37, 43 et 49 dBi).

où φ = l'angle par rapport à l'axe (degrés)

φ_0 = la dimension minimale de l'ellipse circonscrite à la zone de service de la liaison de connexion dans la direction considérée (degrés)

$$x = 0,5 \left(1 - \frac{0,6}{\varphi_0} \right)$$

7. Commande automatique de gain (CAG)

La CAG à bord des engins spatiaux réduit au minimum l'effet des évanouissements causés par la pluie à la station de liaison de connexion sur le rapport C/N de la liaison descendante en maintenant l'amplificateur à TOP au niveau de saturation. Les CAG électroniques agissent sur les canaux individuels et augmentent le gain du répondeur du signal utile et de toute portion de signal brouilleur qui se trouve dans la largeur de bande du filtre du canal utile. Par conséquent, pendant qu'il pleut à la station (ou aux stations) de liaison de connexion, l'emploi de la CAG permet le fonctionnement du répondeur près de la saturation, mais le rapport de la porteuse utile à la portion de porteuse contrapolaire adjacente qui se trouve dans la largeur de bande du filtre du canal utile est altéré. L'emploi de la CAG a donc un effet sur le rapport C/I_u contrapolaire des deux liaisons de connexion dont il s'agit.

Toutefois, le satellite qui utilise la CAG émet sur la liaison descendante un signal utile de niveau constant qui est affaibli sur la liaison de connexion, mais réémet sur la liaison descendante un plus haut niveau du signal contrapolaire brouilleur dans le canal adjacent qui n'est pas affaibli lorsqu'il ne pleut pas sur la liaison de connexion brouilleuse. Cette situation peut entraîner une augmentation du brouillage causé par la liaison descendante à d'autres systèmes recevant le signal réémis sous forme de brouillage dans le même canal. Ce problème ne pourrait être important que pour des satellites copositionnés desservant des zones de service communes ou adjacentes.

Il peut être nécessaire de limiter la gamme de la CAG dans des satellites copositionnés et utilisant des canaux contrapolaires à moins de 10 dB à 15 dB afin de se prémunir contre le problème dû aux réémissions sur la liaison descendante. Ce problème peut être atténué si des satellites à canaux contrapolaires desservant la même zone de service ou des zones de service adjacentes sont séparés d'au moins $0,3^\circ$ sur l'orbite des satellites géostationnaires. Les satellites à canaux contrapolaires non copositionnés ne sont pas soumis à cette limite de la gamme de la CAG. Une limite de 10 dB de la gamme de la CAG pourrait être insuffisante pour maintenir une sortie constante de l'amplificateur à TOP sous certains climats pluvieux pour certains angles de site. L'utilisation d'un autre mécanisme (régulation de puissance, diversité d'espace) pourrait être nécessaire en pareils cas pour maintenir un niveau de signal constant sur la liaison descendante.

Le Plan de la Région 2 concernant les liaisons de connexion est fondé sur une limite de 15 dB de la gamme dynamique de la CAG à bord de quelques satellites contrapolaires, afin de se prémunir contre les réémissions sur la liaison descendante.

8. Choix de la polarisation pour les liaisons de connexion

Le choix de la polarisation des liaisons de connexion influe sur:

- le brouillage pouvant être causé aux liaisons de connexion utilisant le même canal ou des canaux adjacents, par suite de la dépolarisation atmosphérique;
- le partage avec d'autres services fonctionnant dans la même bande de fréquences;
- la conception des antennes de satellite et des systèmes de répéteur.

Il y a deux facteurs à déterminer:

- le type de polarisation (c'est-à-dire, circulaire ou rectiligne);
- le sens de polarisation (c'est-à-dire, même sens ou sens opposé par rapport à celui de la liaison descendante).

Le choix de la polarisation sur la liaison de connexion devra tenir compte de la polarisation sur la liaison descendante. Il est en général avantageux, sur le plan de la conception des antennes des satellites, de choisir le même type de polarisation pour la liaison de connexion et pour la liaison descendante, ce qui permet d'obtenir une construction moins complexe et plus légère.

Si le même type de polarisation est utilisé pour les deux liaisons, l'utilisation du même *sens* de polarisation pour chaque liaison procurera de nouveaux avantages semblables sur le plan de la conception de l'antenne. En particulier, l'utilisation du même sens de polarisation est bénéfique pour la conception des antennes d'engins spatiaux avec faisceaux modelés, fonctionnant avec alimentation multiple d'un réflecteur unique; cette caractéristique a été adoptée dans le Plan pour la Région 2. Toutefois, le découplage entre l'entrée et la sortie du répéteur dépend entièrement de la sélectivité en fréquence. En revanche, l'utilisation du sens opposé de polarisation permet d'avoir une seule alimentation simple d'un réflecteur commun pour les faisceaux de forme circulaire ou elliptique et c'est cette hypothèse qui est adoptée dans certaines propositions concernant les Plans des liaisons descendantes pour les Régions 1 et 3. S'agissant de la polarisation circulaire, l'alimentation est connectée au moyen d'un polariseur à un coupleur de modes orthogonaux pour séparer les trajets d'émission et de réception, ce qui donne un découplage supplémentaire d'une valeur de 30 dB en général, avec pour effet d'assouplir les conditions de filtrage dans le répéteur. Cette dernière méthode a donc généralement été prise en considération dans les études de planification menées dans la Région 1.

En ce qui concerne les effets sur le partage avec d'autres services, ce sont les lobes latéraux d'ouverture relativement grande des diagrammes de référence pour les composantes copolaire et contrapolaire de l'antenne de la station terrienne qui exerceront l'influence la plus importante. Le niveau dans ces lobes latéraux sera pratiquement le même quelle que soit la polarisation. Il s'ensuit que le choix de la polarisation n'influera guère sur le brouillage causé aux services de Terre et au service fixe par satellite dans le sens espace vers Terre.

Quand les satellites sont séparés de plus d'une dizaine de degrés, le type et/ou le sens de polarisation n'a pas à être spécifié pour la planification.

Le brouillage des liaisons de connexion est maximal entre des satellites occupant la même position ou entre des satellites voisins qui desservent la même zone de couverture ou des zones adjacentes faisant ainsi de la valeur de la discrimination contrapolaire une valeur déterminante pour la planification des liaisons de connexion. Des antennes à polarisation rectiligne ont une meilleure discrimination contrapolaire que des antennes à polarisation circulaire. Le Tableau III donne des valeurs de *XPD* typiques.

TABLEAU V – *Caractéristiques de discrimination contrapolaire, XPD (dB) des antennes de liaisons de connexion*

Type de polarisation	Antenne	
	émettrice de station terrienne	réceptrice de satellite
rectiligne	35	33
circulaire	30	27

Le modèle pluviométrique du CCIR (voir le Rapport 564) permet de prévoir une très petite différence d'affaiblissement entre la polarisation verticale et la polarisation horizontale, pour de petites valeurs de l'affaiblissement; l'affaiblissement différentiel atteint 1,5 dB environ pour un affaiblissement de 15 dB. Par ailleurs, le modèle indique que l'affaiblissement d'une onde polarisée circulairement est la valeur médiane des affaiblissements des polarisations verticale et horizontale, et que la dépolarisation, pour une polarisation verticale vraie et une polarisation horizontale vraie, peut dépasser de 15 dB au maximum celle d'une polarisation circulaire (voir le Rapport 814).

8.1 *Présence de pluie à un emplacement*

La Fig. 18 illustre les effets d'un désalignement β_T sur le *C/I* contrapolaire des liaisons de connexion, s'il pleut seulement à l'emplacement de l'émetteur utile. Les canaux contrapolaires sont utilisés par le même satellite ou par un autre placé au même point, desservant une zone de couverture limitrophe. S'il y a un grand chevauchement entre les zones de couverture, le brouillage dans les canaux contrapolaires pourrait dépasser de 3 dB au maximum les valeurs indiquées dans la Fig. 18. Cette figure montre que, par atmosphère claire et aussi en présence de pluie, la polarisation circulaire donne des valeurs plus favorables de *C/I* pour tout défaut d'alignement supérieur à 3° environ. Ce résultat est mis en évidence pour des valeurs d'affaiblissement allant jusqu'à 15 dB. L'angle d'inclinaison de la polarisation rectiligne a peu d'effet sur la dégradation de *C/I* en présence de pluie; cela est mis en évidence par le fait qu'on obtient des résultats similaires en polarisation verticale et en polarisation horizontale. La raison en est que le signal brouilleur n'est ni affaibli, ni dépolarisé.

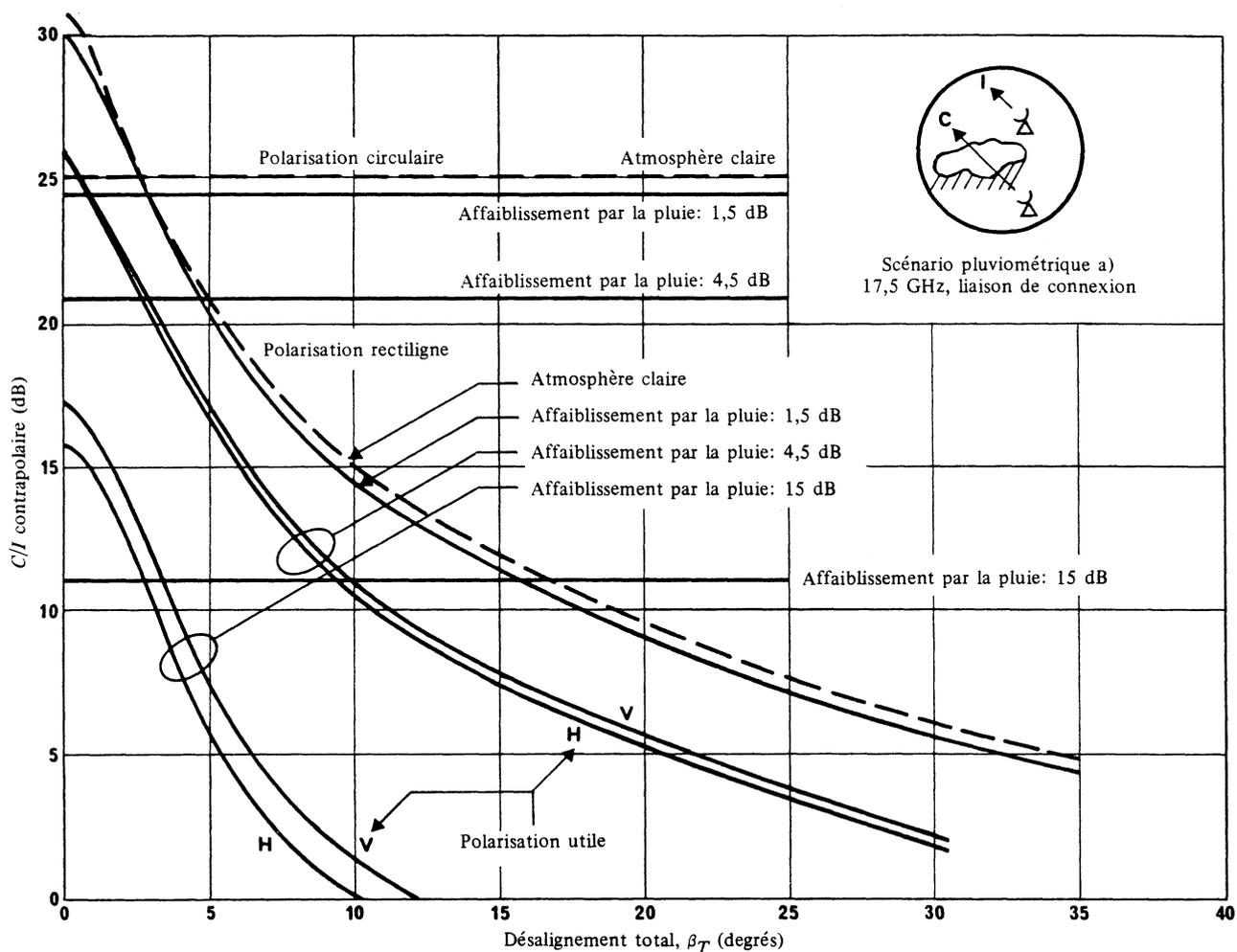


FIGURE 18 – C/I contrapolaire des liaisons de connexion, en présence de pluie seulement à l'emplacement de l'émetteur utile

--- Atmosphère claire
 — Affaiblissement

8.2 Présence de pluie aux deux emplacements

S'il pleut simultanément à l'emplacement de l'émetteur utile et à celui de l'émetteur brouilleur, les effets combinés de la pluie et du défaut d'alignement sur le rapport C/I sont plus complexes à cause de l'influence de la dépolarisation du signal brouilleur. Le «scénario pluviométrique» s'applique à deux stations terriennes voisines qui émettent des signaux à polarisations croisées vers le même satellite ou vers des satellites copositionnés. Les effets du défaut d'alignement et de l'angle d'inclinaison de la polarisation rectiligne sont illustrés par la Fig. 19 pour un affaiblissement de 4,5 dB et par la Fig. 20 pour un affaiblissement de 15 dB (voir également l'Annexe au Rapport 814).

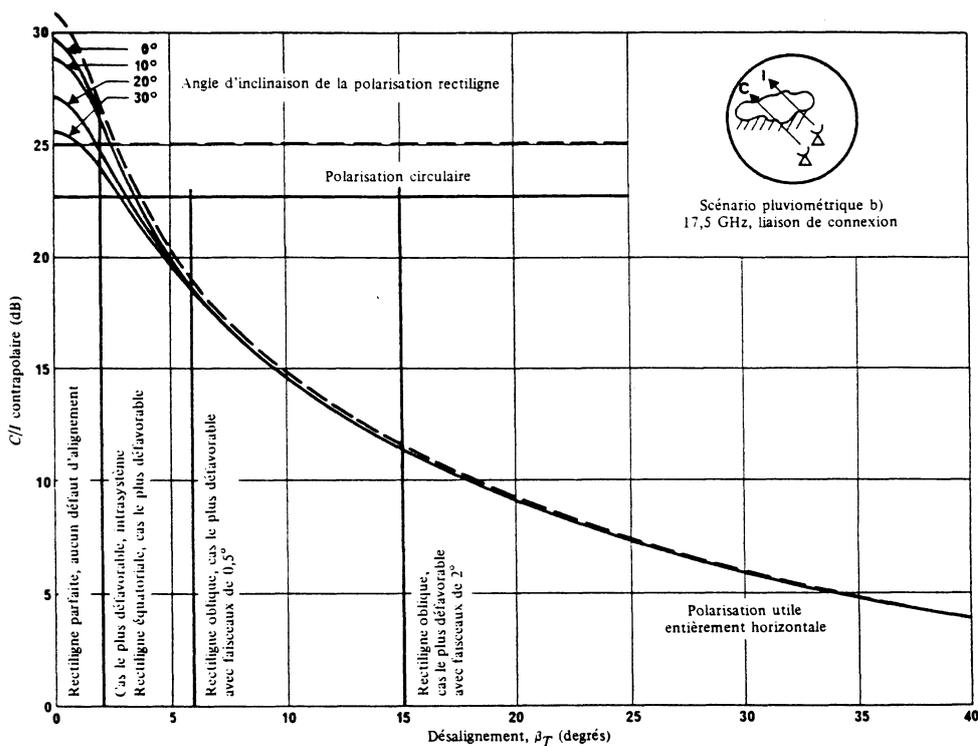


FIGURE 19 - C/I contrapolaire des liaisons de connexion en présence d'un affaiblissement par la pluie de 4,5 dB à l'emplacement de l'émetteur utile et d'un émetteur brouilleur voisin

--- Atmosphère claire
 — Affaiblissement par la pluie: 4.5 dB

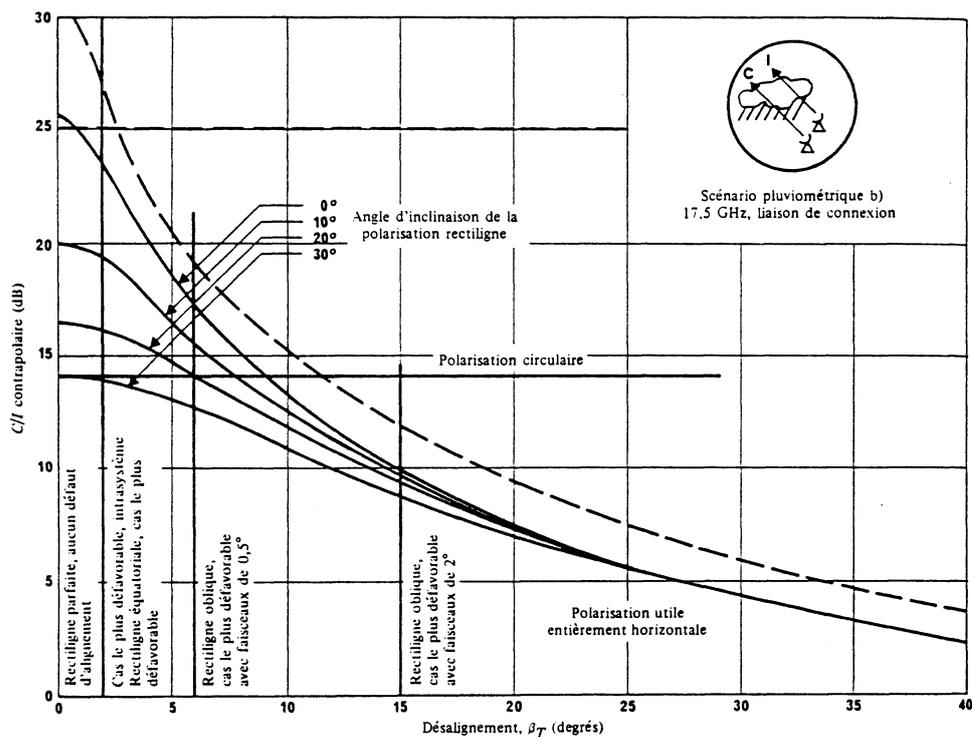


FIGURE 20 - C/I contrapolaire des liaisons de connexion en présence d'un affaiblissement par la pluie de 15 dB à l'emplacement de l'émetteur utile et d'un émetteur brouilleur voisin

--- Atmosphère claire
 — Affaiblissement par la pluie: 15 dB



8.3 Désalignement

La discrimination contrapolaire (*XPD*) de la polarisation circulaire est indépendante à la fois de l'alignement rotationnel des polariseurs des antennes d'émission et de réception et de l'orientation des vecteurs horizontal et vertical locaux. La polarisation rectiligne peut offrir une meilleure *XPD* que la polarisation circulaire, mais seulement si l'alignement rotationnel des antennes d'émission et de réception à polarisation rectiligne est maintenu en deçà de 2° et si l'angle d'inclinaison du plan de polarisation de l'antenne d'émission est inférieur à 20° .

Pour des zones de service de liaison de connexion d'un diamètre de plusieurs centaines de km et des angles de site du satellite allant jusqu'à 60° (créneau d'éclipse retardée et/ou zones de service non équatoriales), la variation de l'angle d'inclinaison dans chaque zone de service ne dépasse pas une vingtaine de degrés. Pour de telles zones de service, le vecteur vertical (ou horizontal) local pourrait être défini au centre de la zone, ou pourrait être quelque peu décalé vers une sous-zone de plus fortes précipitations. L'alignement rotationnel de la polarisation des antennes d'émission de chaque liaison de connexion à l'intérieur de la zone de service pourrait être ajusté, selon l'équation de l'Annexe I du Rapport 814, de façon à obtenir la colinéarité avec l'antenne de réception du SRS. Cet alignement pourrait être maintenu à $\pm 0,5^\circ$ au sol. La tolérance de rotation de l'antenne du satellite est de $\pm 1^\circ$. Cette tolérance pourrait encore être réduite, si nécessaire, par l'emploi de techniques de poursuite de polarisation sur le satellite.

Pour des zones de service plus grandes (par exemple, les Etats-Unis d'Amérique contigus), à l'intérieur desquelles l'angle d'inclinaison varie de plusieurs dizaines de degrés, les 20° pourraient être dépassés. Le concept de polarisation rectiligne «progressive» [Ohm, 1981] fournit la base théorique d'une antenne de réception de satellite, pour la liaison de connexion du SRS, qui n'est pas soumise à cette limitation de l'angle d'inclinaison; mais jusqu'à ce qu'une antenne de satellite basée sur ce concept ait été essayée avec succès, ce concept ne devrait pas être utilisé pour la planification du SRS. Le même avantage pourrait être obtenu mécaniquement en utilisant sur le satellite une antenne de réception orientable à faisceau très étroit (par exemple $0,5^\circ$) dont le vecteur polarisation (lorsqu'elle est pointée vers un emplacement visible depuis le satellite) aurait subi une rotation de façon à être colinéaire avec l'horizontale (ou la verticale) locale des antennes d'émission des liaisons de connexion.

La méthode de la polarisation rectiligne progressive, ou la méthode de polarisation de l'Annexe I au Rapport 814, fournirait une *XPD* adéquate à l'intérieur d'une zone de service desservie par son groupe de satellites. Pour des zones de service contiguës ou se chevauchant, seule l'antenne de satellite à polarisation rectiligne progressive (mécanique ou électrique) permettrait à une antenne d'émetteur de liaison de connexion, située à la frontière commune des zones de service, d'être convenablement alignée, vue des deux groupes de satellites. Toutefois, comme on l'a dit au § 4.1, pour des antennes d'émetteur de liaison de connexion de 5 m de diamètre, il y a déjà un découplage adéquat (copolaire ou contrapolaire) entre des groupes de satellites espacés d'au moins 10° .

9. Considérations générales relatives à la planification

La planification des liaisons de connexion peut se faire en même temps que celle des liaisons descendantes ou séparément à une date ultérieure. La planification simultanée est traitée dans le Rapport 633. Le présent chapitre porte sur certaines caractéristiques de la planification des liaisons de connexion qui doivent être prises en considération dans l'un et l'autre cas.

9.1 Fréquence des liaisons de connexion

D'une manière générale, pour une antenne de dimension donnée, plus la fréquence est élevée plus grande est la directivité de l'antenne de réception du satellite et plus faible est le brouillage. Cependant, plus les fréquences sont élevées, plus prononcés seront les effets de propagation, y compris la dépolarisation. D'après des études effectuées au Japon [CCIR, 1978-82], on constate que, dans la pratique, il y a peu de différence entre les rapports porteuse/brouillage les plus défavorables de deux systèmes de liaison de connexion utilisant les bandes de fréquences 14 GHz et 17 GHz.

9.2 Emplacement et dimensions des antennes

Dans la planification des liaisons de connexion aux satellites de radiodiffusion, il convient de tenir compte des impératifs d'exploitation du service de radiodiffusion par satellite. Pour un programme de télévision, la possibilité d'établir une liaison de connexion directe aux satellites de radiodiffusion, à partir d'emplacements ne disposant pas des moyens permettant la transmission du signal à la station terrienne d'émission permanente, revêt une importance considérable, en particulier lorsqu'il s'agit des zones de service étendues ou montagneuses. L'utilisation de stations terriennes transportables relativement petites pour les liaisons de connexion aux satellites de radiodiffusion doit être examinée sous cet angle.

Dans un pays de faible étendue, le système de radiodiffusion par satellite peut comporter un seul faisceau sur la liaison de connexion et la liaison descendante. L'accès peut être obtenu à partir d'un seul point ou de plusieurs, ou encore à partir d'un point quelconque du pays. Si ces emplacements sont connus avant l'établissement du plan, les zones de service des liaisons de connexion, de superficie plus petite que celle de la liaison descendante, peuvent être planifiées, et le satellite peut être équipé d'une antenne de réception à faisceau ponctuel. Si les emplacements des stations terriennes ne sont pas connus avant l'établissement du plan, ou si l'accès est possible à partir d'un point quelconque de la zone de service de la liaison descendante, avec des stations transportables, il est nécessaire de planifier, pour les liaisons de connexion, une zone de service qui s'étendra à l'ensemble du pays.

Des considérations d'ordre géographique (par exemple, fuseaux horaires) dans un pays, et/ou la diversité de sa population sur le plan culturel, peuvent imposer l'utilisation de faisceaux multiples sur les liaisons descendantes. En pareil cas, l'antenne de la liaison de connexion, pour chaque faisceau, peut être implantée soit à l'intérieur de la zone de service de chaque liaison descendante, soit en des points déterminés du territoire du pays, soit encore en un point quelconque de ce territoire. Si l'on souhaite placer la station terrienne exclusivement dans chaque zone de service de liaison descendante, on pourra planifier une zone de service commune pour la liaison de connexion et la liaison descendante. Toutefois, pour les programmes provenant de points extérieurs à la zone de service de la liaison descendante et destinés à être diffusés dans cette même zone, il pourrait être nécessaire de prévoir une distribution par l'intermédiaire de systèmes de Terre ou de satellites du service fixe.

Si l'on souhaite implanter la station terrienne en un point quelconque d'un pays desservi par plusieurs faisceaux, on pourra réaliser l'accès direct au satellite de radiodiffusion en planifiant une zone de service de liaisons de connexion s'étendant à tout le territoire du pays. Les programmes provenant de points extérieurs à la zone de service de la liaison descendante accéderaient directement au satellite de radiodiffusion, dans les bandes de fréquences planifiées pour les liaisons de connexion.

La planification des liaisons de connexion fondée sur une seule dimension d'antenne de la station terrienne et une seule valeur de la puissance maximale d'émission donnerait une plus grande homogénéité entre les liaisons de connexion. Pour une dimension d'antenne donnée et un rapport de protection donné dans le même canal, il existe une séparation orbitale au-delà de laquelle le brouillage causé par les stations de liaison de connexion brouilleuses devient négligeable, et il n'est pas nécessaire d'en tenir compte dans la planification des liaisons de connexion. A titre d'exemple, pour un diamètre d'antenne de 5 m, et une enveloppe des lobes latéraux correspondant au diagramme de référence de $29 - 25 \log \phi$ (dBi), les satellites doivent être séparés d'au moins $7,5^\circ$ pour obtenir un découplage de 40 dB en présence d'un affaiblissement différentiel par la pluie de 10 dB, et permettre ainsi la réutilisation des fréquences. Dans cet exemple, on admet des émissions copolaires et aucune discrimination d'antenne de réception de satellite n'est prise en considération, et les stations de liaison de connexion sont situées dans la même zone de service.

Dans le cas où les deux émissions dans le même canal sont contrapolaires, une séparation orbitale plus petite est nécessaire puisqu'une partie du découplage de 40 dB provient de la discrimination de polarisation de l'antenne d'émission de station terrienne, et de l'antenne de réception du satellite. De même, si les zones de service des liaisons de connexion ne sont pas adjacentes, l'antenne de réception du satellite peut fournir une partie du rapport de protection de 40 dB en raison de l'espacement angulaire. La séparation orbitale requise peut donc être réduite jusqu'au point où les satellites sont pratiquement copositionnés.

Dans le cas de brouillages causés par le canal adjacent, la séparation orbitale requise est encore plus petite que dans les cas respectifs mentionnés ci-dessus, puisqu'il faut alors en général, un découplage de moins de 16 dB. Un cas particulier est traité au § 9.4 où l'on constate que la séparation orbitale requise pour des canaux adjacents contrapolaires transmis à partir de la même zone de service, en présence d'un affaiblissement différentiel par la pluie de 10 dB, n'atteint qu'une fraction d'un degré. Ce principe a été largement appliqué pour la planification des liaisons de connexion dans la Région 2.

Compte tenu de la dimension relativement grande de l'antenne d'émission de la station terrienne, dans des conditions normales, on obtiendra le découplage voulu sur les liaisons de connexion pour des espacements sur l'orbite, ou entre zones de service, inférieurs à l'espacement requis pour la liaison descendante, sauf si la zone de service de la liaison de connexion est plus grande que celle que dessert la liaison descendante, ou se trouve en dehors de cette dernière.

On a constaté dans les Plans des liaisons de connexion pour les Régions 1 et 3, ainsi que pour la Région 2, qu'un diamètre nominal d'antenne égal à 5 m était une valeur intéressante et c'est elle qu'on a employé dans la planification. _____ Outre qu'il découple complètement les liaisons de connexion de satellites séparés d'environ 10° , on a constaté qu'un diamètre de 5 m est de l'ordre de grandeur que l'on peut envisager pour les applications transportables. De plus, la puissance émise nécessaire pour une liaison de connexion viable a été jugée facile à atteindre. Des antennes plus petites, pouvant avoir au minimum un diamètre de 2,5 m, ont été autorisées dans les Plans et ont été prises en considération dans l'élaboration du diagramme de référence d'antenne (voir le § 5.2), pour autant que leur utilisation n'élève pas le niveau de brouillage causé aux autres liaisons de connexion, tel qu'il a été calculé dans les Plans. Lorsque les satellites sont espacés de plus de $0,55^\circ$, aucun brouillage supplémentaire ne peut résulter de l'utilisation d'antennes ayant un diamètre de 2,5 m. On sait, néanmoins, qu'avec l'emploi de ces petites antennes, on obtiendra des valeurs de C/N et C/I plus faibles qu'avec le diamètre d'antenne utilisé comme base de la planification.

9.3 *Puissance émise*

Afin d'éviter un brouillage excessif des satellites adjacents et des services de Terre – les enveloppes des lobes latéraux en dehors de l'axe de l'antenne de la liaison de connexion étant définies en terme de gain absolu par rapport à une source isotrope, et pour simplifier la planification des liaisons de connexion – on considère que la spécification de la puissance maximale pouvant être appliquée à l'antenne d'une liaison de connexion d'un satellite de radiodiffusion est la meilleure façon de spécifier les caractéristiques de brouillage de la station d'émission de cette liaison, conjointement avec le diagramme de référence de l'antenne. Cette limite maximale de puissance s'appliquerait à toutes les conditions et à toutes les dimensions des antennes.

La limitation de la puissance d'émission sur la liaison de connexion offre un autre avantage: si la planification est fondée sur l'utilisation d'une dimension d'antenne nominale, le principe de la puissance surfacique homogène sur l'orbite est applicable, donnant l'utilisation optimale de la ressource orbite-spectre. Il convient de noter, toutefois, que la non-homogénéité de la p.i.r.e. dépend seulement de la différence entre les puissances émises, et non du gain de l'antenne, lorsque les satellites sont espacés de plus d'une fraction de degré.

9.4 *Satellites copositionnés*

Les cas les plus critiques de brouillage sur les liaisons de connexion se produisent lorsque les satellites sont copositionnés. Comme on l'a vu au § 4.6, on rencontre dans la pratique deux situations:

- celle où les satellites copositionnés utilisent le même canal, mais en contrapolarisation, et où leurs zones de service sont séparées,
- celle où ces satellites ont des zones de service communes ou adjacentes et fonctionnent sur des canaux adjacents contrapolarisés.

Il existe plusieurs méthodes permettant de traiter les cas où le C/I est faible, mais chacune d'elles a ses inconvénients. On pourrait, mais cela coûte cher et ne permet aucune souplesse d'exploitation, recourir à la diversité d'espace associée avec une p.i.r.e. uniforme sur la liaison de connexion. On pourrait accepter une performance de brouillage moindre pendant les faibles pourcentages du temps où les précipitations donnent lieu à de grands affaiblissements. La régulation de puissance associée à une compensation de la dépolarisation est une solution possible, mais aucune des méthodes ci-dessus n'en est encore à un stade de développement suffisant.

Lorsque les canaux sont adjacents, il existe encore d'autres méthodes auxquelles on pourrait recourir. On pourrait augmenter l'espacement entre les canaux aux dépens d'une diminution du nombre total de canaux de télévision. On pourrait réduire la largeur de bande de chaque canal, mais cela aurait des conséquences fâcheuses sur les applications qui, comme la TVHD (télévision à haute définition), exigent une grande largeur de bande.

Une autre manière de réduire les brouillages consisterait à séparer des satellites «copositionnés» par un petit arc d'orbite. Cette méthode a été adoptée pour élaborer le Plan des liaisons de connexion dans la Région 2 et elle est décrite ci-après.

D'autres facteurs doivent être pris en considération lorsque les satellites sont copositionnés, à savoir la probabilité de collision et les possibilités de brouillage sur les liaisons servant aux fonctions de service des satellites.

9.4.1 *Groupes de satellites et réduction des brouillages*

Un groupe de satellites, tel que défini par la CARR SAT-83 dans le Plan pour la Région 2, est formé par les satellites situés sur deux positions orbitales séparées de $0,4^\circ$ dans le Plan et auxquels sont assignés des canaux adjacents contrapolarisés. Compte tenu des autres méthodes possibles pour lutter contre le brouillage des liaisons de connexion entre les canaux adjacents contrapolarisés, on a estimé qu'il était nécessaire d'assurer une grande souplesse dans le positionnement orbital des satellites lors de la mise en œuvre. Dans le Plan de la Région 2, le satellite d'une administration appartenant à un groupe peut occuper une position quelconque dans ce groupe de $0,4^\circ$ de large moyennant l'accord des autres administrations partageant ce groupe de satellites. Dans ces conditions, on peut choisir au moment de la réalisation, la séparation orbitale optimale entre satellites qui dépend des éléments suivants:

- zone hydrométéorologique
- angle de site
- diamètre de l'antenne de la station terrienne, et
- diversité d'espace.

La CARR SAT-83 a adopté une séparation minimale de $0,9^\circ$ entre les centres de groupes de satellites dans le Plan.

9.4.2 Probabilité de collision

L'espacement des satellites «cositionnés» présente un autre avantage: il permet de réduire la probabilité de collision. En appliquant la méthode de calcul décrite dans [Hechler et Van der Ha, 1980], on constate que cette probabilité passe de 9×10^{-7} à 5×10^{-5} par an quand on porte de 2 à 12 le nombre des satellites (chacun d'eux ayant un maître couple de 100 m^2 et tous les satellites occupant la même portion d'arc de $0,1^\circ$). Bien qu'il y ait encore une probabilité de non-collision de 99% sur 200 ans environ, la probabilité de collision augmenterait néanmoins de façon appréciable si les satellites étaient placés en co-positionnement exact en de nombreux emplacements de l'orbite géostationnaire. Une collision produit des débris qui accroissent nettement la probabilité de collisions supplémentaires. Il serait donc peut-être préférable d'espacer légèrement les satellites «cositionnés» pour réduire le risque de collision à un minimum.

9.4.3 Brouillage sur les liaisons servant aux fonctions de service des satellites

Il peut être important aussi de ménager un petit espacement orbital pour avoir des niveaux de brouillage suffisamment faibles dans les canaux de poursuite, télémétrie et télécommande (PTT) des satellites.

L'espacement de fréquence entre la limite du canal de télévision situé à l'extrémité de la bande et le canal PTT le plus proche sera de l'ordre de 2 MHz. On admet que la caractéristique de coupure de l'émission par satellite dans le canal de télévision aura une pente de 2 dB/MHz, dans le cas d'un filtrage typique.

La valeur du découplage introduit par ce filtre entre le canal de télévision situé à l'extrémité de la bande et les canaux PTT peut être comprise entre 4 dB et environ 23 dB dans le cas de bandes de garde larges de 12 MHz. En utilisant des polarisations opposées pour les canaux PTT, et le canal de télévision situé à l'extrémité de la bande, on pourrait porter ce découplage à 25-44 dB par atmosphère claire, et à 15-34 dB lorsque la pluie affaiblit le signal de 10 dB sur le trajet utile. L'espacement nominal des satellites «cositionnés» permettrait d'augmenter ce découplage et d'assurer la souplesse dans le choix des polarisations pour les canaux PTT.

9.4.4 Méthode pour résoudre les incompatibilités dans le plan des liaisons de connexion

Une fois terminée la planification des liaisons de connexion, il se peut que certains cas d'incompatibilité subsistent. Après coordination, les administrations concernées pourraient utiliser la méthode décrite ci-après pour remédier à ces situations. La station brouilleuse peut émettre à une puissance inférieure à la valeur nominale par temps clair, ce qui permet de conserver une qualité suffisante et de maintenir le brouillage à un niveau admissible. En présence d'affaiblissement par la pluie, la station brouilleuse peut être autorisée à accroître sa p.i.r.e., ce qui pourrait réduire le rapport C/I sur la liaison brouillée, mais dans des proportions ne dépassant pas toutefois la limite indiquée dans le plan.

9.5 Transposition de fréquence

Pour la Région 2, le Plan des liaisons de connexion a été établi sur la base d'une seule transposition de fréquence entre les canaux de liaison de connexion à 17 GHz, et les canaux de liaison descendante à 12 GHz.

La CAMR-ORB(88) a généralement admis pour les Régions 1 et 3 (dans la bande 17,3 à 18,1 GHz) le principe d'une simple translation de fréquences (5,6 GHz), sauf dans les cas où il a fallu éliminer des incompatibilités du Plan.

La largeur de bande maximale disponible pour la bande de liaison de connexion 14,5-14,8 GHz n'étant que de 300 MHz contre 800 et 500 MHz dans le plan des liaisons descendantes pour les Régions 1 et 3 respectivement, plusieurs fréquences de transposition, si elles ont été déterminées, permettent d'utiliser n'importe quel canal du Plan. Un canal de liaison de connexion donné a été assigné à plusieurs canaux du Plan SRS simultanément.

Pour la bande de liaison de connexion 14,5-14,8 GHz, il convient d'admettre 14 canaux et 2 bandes de garde appropriées.

Le choix de fréquences de transposition à cette fin et pour cette bande est une tâche complexe en raison de deux domaines de la gamme des fréquences de transposition possibles qui créeront des produits de mélange parasites dans certains canaux. Il est donc nécessaire d'optimiser les fréquences de transposition. On évitera les rapports de 1/6 et 2/11 entre la fréquence de transposition et n'importe quelle fréquence de la largeur de bande nécessaire d'un canal de liaison de connexion.

Les paramètres suivants seront utilisés pour la planification des liaisons de connexion dans la bande de fréquences 14,5-14,8 GHz:

Largeur de bande nécessaire d'un canal	27 MHz
Espacement des canaux	19,18 MHz
Nombre de canaux	14
Fréquence centrale du canal le plus bas (1)	14 525,30 MHz
Fréquence centrale du canal le plus élevé (14)	14 774,64 MHz
Bande de garde inférieure	11,80 MHz
Bande de garde supérieure	11,86 MHz

Fréquences de transposition:

a) pour les canaux SRS 1 à 14	2797,82 MHz
b) pour les canaux SRS 15 à 28	2529,30 MHz
c) pour les canaux SRS 29 à 40	2260,78 MHz

Le Tableau VI indique les correspondances entre les numéros des canaux, les fréquences assignées aux liaisons de connexion et celles assignées au Plan de la CAMR RS-77 pour les Régions 1 et 3 pour les trois fréquences de transposition.

TABLEAU VI – Table de correspondance entre les numéros des canaux et les fréquences assignées aux liaisons de connexion dans la bande de fréquences 14,5-14,8 GHz d'une part, et entre les numéros des canaux et les fréquences assignées dans le Plan SRS, Régions 1 et 3, d'autre part

Fréquences assignées aux liaisons de connexion		Fréquences de transposition (MHz)					
		2 797,82		2 529,30		2 260,78	
Canal N°	Fréquence (MHz)	Fréquences assignées dans le Plan SRS, Régions 1 et 3					
		Canal N°	Fréquence (MHz)	Canal N°	Fréquence (MHz)	Canal N°	Fréquence (MHz)
1	14 525,30	1	11 727,48	15	11 996,00	29	12 264,52
2	14 544,48	2	11 746,66	16	12 015,18	30	12 283,70
3	14 563,66	3	11 765,84	17	12 034,36	31	12 302,88
4	14 582,84	4	11 785,02	18	12 053,54	32	12 322,06
5	14 602,02	5	11 804,20	19	12 072,72	33	12 341,24
6	14 621,20	6	11 823,38	20	12 091,90	34	12 360,42
7	14 640,38	7	11 842,56	21	12 111,08	35	12 379,60
8	14 659,56	8	11 861,74	22	12 130,26	36	12 398,78
9	14 678,74	9	11 880,92	23	12 149,44	37	12 417,96
10	14 697,92	10	11 900,10	24	12 168,62	38	12 437,14
11	14 717,10	11	11 919,28	25	12 187,80	39	12 456,32
12	14 736,28	12	11 938,46	26	12 206,98	40	12 475,50
13	14 755,46	13	11 957,64	27	12 226,16	—	—
14	14 774,64	14	11 976,82	28	12 245,34	—	—

9.6 Largeur de bande totale nécessaire pour les liaisons de connexion

On a effectué des études pour déterminer le rapport des largeurs de bande: liaison de connexion/liaison descendante; les valeurs obtenues s'échelonnent entre 1:1 et 1,5:1, selon les caractéristiques des liaisons de connexion [CCIR, 1978-82m]. On ne retient pas les valeurs inférieures à 1:1, principalement parce que ces valeurs supposent l'emploi de répéteurs à traitement des signaux dans le satellite, ce qui donnerait un satellite plus complexe, plus coûteux et sujet à des défaillances plus fréquentes.

9.7 *Indépendance des positions orbitales dans le Plan des Régions 1 et 3*

Des études effectuées en France [CCIR, 1978-82n, o] ont montré que, pour l'espacement de 6° dans les Régions 1 et 3, il est possible d'établir des plans indépendants pour chaque position orbitale en alternant la polarisation d'une position orbitale à la suivante et d'un canal au suivant, et en faisant les hypothèses suivantes:

- diamètre des antennes des stations terriennes: au moins 3 m;
- diagramme et largeur de faisceau pour les antennes de réception et d'émission du satellite: comme pour le Plan de de la CAMR-RS-77;
- rapport de protection: dans le même canal: 40 dB, dans le canal adjacent: 24 dB;
- transposition du Plan de la CAMR-RS-77;
- puissance surfacique homogène dans les satellites;
- discrimination de polarisation égale à 30 dB dans les lobes latéraux;
- la position de chaque station terrienne est au centre du faisceau correspondant de la liaison descendante;
- la dépolarisation par la pluie sera prise égale à -20 dB.

Un complément d'étude est nécessaire pour ce qui concerne les autres hypothèses de planification pour les Régions 1 et 3.

9.8 *Considérations relatives à la zone de service: effet sur la réutilisation des fréquences*

Comme indiqué plus haut, il existe plusieurs raisons pour lesquelles il peut être intéressant d'envisager pour la liaison de connexion une zone de service différente de la zone de service ou des zones de service pour la liaison descendante correspondante. Du point de vue du brouillage, il est avantageux que des faisceaux étroits de liaisons de connexion soient situés à proximité des centres respectifs des liaisons descendantes correspondantes [CCIR, 1978-82h]. Cela pourrait toutefois restreindre la souplesse d'exploitation. Dans certains cas, les conditions d'exploitation peuvent imposer l'accès simultané à plusieurs satellites situés en divers emplacements ou à plusieurs faisceaux de liaisons descendantes pour une même position orbitale. Les émissions sur les liaisons de connexion pourraient provenir d'un seul emplacement situé ou non dans l'une des zones de liaison descendante ou d'un point quelconque de l'ensemble des zones des liaisons descendantes [Bouchard, 1982]. Cela s'appliquerait par exemple à un grand pays ou à un groupe d'administrations qui doivent nécessairement être desservis par plusieurs faisceaux descendants. Dans ce dernier cas, la possibilité de réutiliser un allotissement de fréquence n'a pas à être restreinte par le plan des liaisons de connexion si des critères techniques sont élaborés pour assurer une protection contre les brouillages des liaisons de connexion.

La possibilité de réutilisation des fréquences peut être exprimée, selon la séparation orbitale nécessaire entre les satellites des systèmes brouilleurs, en fonction de la séparation entre les zones de service respectives pour les quatre combinaisons (dans le même canal, dans des canaux adjacents, copolaire, contrapolaire). S'agissant de grands pays desservis par plusieurs faisceaux descendants adjacents et où il est nécessaire de prévoir un accès national à chacun de ces faisceaux, la réutilisation des fréquences peut être restreinte si les dimensions de la zone de service des liaisons de connexion sont sensiblement supérieures à celles de l'un quelconque des faisceaux de liaison descendante pour certaines combinaisons:

- de séparation orbitale;
- de diamètre d'antenne de la station terrienne pour la liaison de connexion;
- d'hétérogénéité entre les liaisons de connexion;
- de rapport de protection des liaisons de connexion [CCIR, 1978-82p].

Toutefois, on peut toujours choisir des valeurs appropriées de ces facteurs pour s'assurer que la capacité de réutilisation des fréquences sur les liaisons de connexion est au moins aussi grande que sur la liaison descendante.

Une méthode de planification intégrée des liaisons de connexion et descendantes est donc nécessaire pour planifier une zone de service pour la liaison de connexion différente de celle de la liaison descendante. La planification simultanée des liaisons de connexion et des liaisons satellite-Terre à la CARR SAT-83 permettra d'appliquer cette méthode. Une étude a été effectuée au Canada, sur les bases techniques suivantes:

- diagramme de référence pour les lobes latéraux de l'antenne d'émission de la liaison de connexion: $32 - 25 \log \varphi$, dB;
- diagramme de rayonnement des antennes de réception du satellite: identique à celui figurant dans les Actes finals de la CAMR-RS-77 pour l'antenne d'émission du satellite;
- rapports de protection sur les liaisons de connexion: compris entre 35 et 45 dB;
- rapport de protection sur la liaison descendante: 35 dB pour une seule source de brouillage;
- largeur du canal: 18 MHz;
- espacement des canaux: de 13 à 17 MHz.

En supposant une antenne d'émission dont le diamètre est de 8 m pour des liaisons de connexion présentant des hétérogénéités entre systèmes de 8 dB, un rapport de protection dans le même canal de 40 dB et un rapport de protection dans le canal adjacent de 20 dB, l'étude a montré qu'il est possible de planifier une zone de service pour la liaison de connexion au niveau national, à condition d'avoir les espacements suivants entre les satellites à faisceaux multiples de grands pays et les satellites des pays voisins:

- plus de 6° entre eux lorsque l'on prévoit des allotissements copolaires dans le même canal pour des liaisons de connexion à partir d'un point quelconque de ces pays;
- plus de 1° entre eux lorsque l'on prévoit des allotissements contrapolaires dans le même canal ou copolaires dans des canaux adjacents pour des liaisons de connexion à partir d'un point quelconque de ces pays.

Ces conclusions s'appliquent à la fois à l'antenne de réception du satellite au niveau national et à l'antenne de réception du satellite à faisceau ponctuel orientable.

10. Partage dans les bandes des liaisons de connexion

10.1 Généralités

Compte tenu des attributions décidées par la CAMR-79, l'utilisation des bandes de fréquences mentionnées au § 2 du présent Rapport par le service fixe par satellite (Terre vers espace) est limitée aux liaisons de connexion aux satellites de radiodiffusion (numéros 835, 863 et 869 du RR).

La question du partage des fréquences entre les liaisons de connexion des satellites de radiodiffusion et d'autres services est étudiée dans le Rapport 561.

La bande 17,3-18,1 GHz est l'une des bandes choisies par la CAMR ORB-85 pour la planification des liaisons de connexion dans les Régions 1 et 3. La partie inférieure de cette bande (17,3-17,8 GHz) a été planifiée pour les liaisons de connexion dans la Région 2 (CARR SAT-83). On trouvera dans la présente section des indications sur les divers cas de partage qui se présenteront dans cette bande entre 17,7 et 18,1 GHz. Les situations de partage décrites et les probabilités de brouillage correspondantes, concernent les liaisons de connexion aux satellites de radiodiffusion, le service fixe (SF) et le service fixe par satellite (SFS) dans toutes les Régions [CCIR, 1982-86f].

Les Commissions d'études 4 et 9 examinent actuellement un certain nombre de cas de partage.

10.2 Situations de partage dans la bande 17,7-18,1 GHz

La Fig. 20 montre les situations de partage qui existeront dans la portion de bande 17,7-18,1 GHz. Etant donné que les attributions aux trois services sont des attributions mondiales, il pourra y avoir des brouillages entre les liaisons de connexion au SRS, d'une part, et les services fixes et fixes par satellite de toutes les Régions, d'autre part. Les paragraphes qui suivent traitent, dans les grandes lignes, de l'intensité de ces brouillages et des techniques à appliquer pour réduire le brouillage dans chacun des cas illustrés par la Fig. 20.

10.2.1 Brouillage causé par des émetteurs des stations spatiales du SFS aux récepteurs des stations spatiales du SRS

Le brouillage causé par les émetteurs des stations spatiales du SFS peut atteindre les récepteurs des stations spatiales du SRS par deux trajets (cas 1A et 1B, Fig. 20). Un de ces trajets passe par les lobes latéraux de l'antenne d'émission de la station spatiale du SFS et par les lobes latéraux de l'antenne de réception d'une station spatiale du SRS située à proximité. L'autre trajet passe par le faisceau principal de l'antenne d'émission d'une station spatiale du SFS et par le faisceau principal de l'antenne de réception d'une station spatiale du SRS en position quasi antipodale.

10.2.1.1 Stations spatiales du SFS et du SRS presque copositionnées (cas 1A)

Le brouillage causé par une station spatiale du SFS à une station spatiale du SRS voisine sera négligeable si les deux satellites ne sont pas très près l'un de l'autre, la raison étant que le brouillage est émis et reçu dans les lobes latéraux extrêmes des deux antennes. De petits espacements entre satellites, de l'ordre de 0,1° (c'est-à-dire environ 74 km) suffisent pour que l'affaiblissement du signal (affaiblissement spatial) abaisse le niveau de brouillage à des valeurs négligeables.

10.2.1.2 Stations spatiales du SFS et du SRS quasi antipodales (cas 1B)

Un brouillage pourrait se produire, dans un très petit nombre de cas, si les stations spatiales du SFS et du SRS se trouvaient en position quasi antipodale. Normalement, la présence de satellites du SRS en projet ne devrait imposer que des contraintes négligeables au positionnement des satellites du SFS. Toutefois, il sera peut-être nécessaire de prendre quelques précautions pour des espacements de 160° à 162,5° entre les satellites.

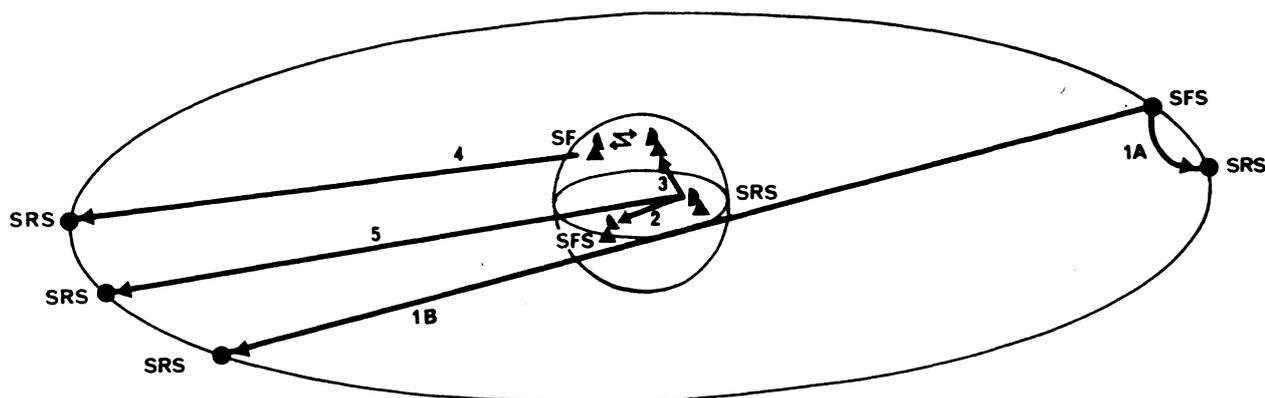


FIGURE 21

Cas	De	Vers	Observations
1A	SFS (espace vers Terre)	SRS, satellite voisin	Un petit espacement entre satellites réduira les brouillages à des niveaux acceptables
1B	SFS (espace vers Terre)	SRS, satellite antipodal	Situation peu fréquente (Appendice 29. Augmentation de ΔT de 10% dans la Région 2)
2	Liaison de connexion du SRS	SFS, station terrienne réceptrice	Procédure de coordination selon l'Appendice 28
3	Liaison de connexion du SRS	SF, récepteur	Procédure de coordination selon l'Appendice 28
4	Emetteur du SF	SRS, récepteur de satellite	Situation peu fréquente: voir cependant la Recommandation N° 4 (CARR SAT-83)
5	Liaison de connexion du SRS dans une région	SRS, récepteur de satellite dans une autre région	Coordination selon l'Appendice 29 (augmentation de ΔT de 10% dans la Région 2)

10.2.1.3 Cas 1A et 1B dans la Région 2

La CARR SAT-83 (Partie II, Annexe 4, § 1 des Actes finals) a appliqué les dispositions de l'Appendice 29 à ces cas, mais elle a modifié le critère donnant lieu à coordination, en augmentant ΔT de 10%. Dans le cas de satellites en position quasi antipodale, la coordination aux termes de l'Appendice 29 est requise seulement si la PFD dans le limbe de la Terre dépasse $-123 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 24 \text{ MHz))}$, et si la séparation géocentrique des satellites est supérieure à 150° .

10.2.2 Brouillage causé par l'émetteur d'une liaison de connexion du SRS à une station terrienne de réception du SFS

L'émetteur d'une liaison de connexion du SRS (émission dans le sens Terre vers espace) peut causer des brouillages au récepteur d'une station terrienne du SFS (qui utilise la même portion de bande dans le sens espace vers Terre), (cas 2, Fig. 21). On peut déterminer le niveau de ce brouillage potentiel en appliquant une adaptation des méthodes de calcul de brouillage décrite dans les Rapports 557, 448, 388 et 382. Il est possible de ramener le niveau et la probabilité de ce brouillage jusqu'à des valeurs admissibles en espaçant les deux stations, ou en les implantant de telle manière que le terrain ou des obstacles artificiels exercent un effet d'écran suffisamment prononcé.

La CARR SAT-83 a appliqué à cette situation les clauses de coordination de l'Appendice 28 (voir les Actes finals, Partie II, Annexe 3), modifiées pour tenir compte des caractéristiques des stations terriennes et des conditions de propagation dans cette portion de la bande de fréquences.

10.2.3 Brouillage causé par l'émetteur d'une liaison de connexion du SRS à un récepteur du service fixe

Les émissions sur les liaisons de connexion du SRS peuvent causer des brouillages au récepteur d'une station de Terre du service fixe (cas 3, Fig. 21).

Pour déterminer la zone de coordination autour des récepteurs des stations terriennes d'émission de liaison de connexion et des récepteurs du service fixe – si les contours correspondants traversent des pays différents – il convient d'appliquer les dispositions de l'Appendice 28 au Règlement des radiocommunications. Le Rapport 382 décrit une procédure apparentée, mais non identique, qui prend en compte les données de propagation les plus récentes – mais, dans certains cas, provisoires encore – contenues dans les Rapports 724, 563 et 569. Les méthodes plus détaillées de calcul du brouillage, décrites dans les Rapports 448 et 388 (voir plus haut), peuvent aussi être utilisées dans ce cas pour faire l'estimation du niveau de brouillage. Comme dans le cas précédent, le brouillage peut être ramené à des niveaux admissibles si on espace suffisamment les stations ou si on introduit un effet d'écran suffisamment prononcé, naturel ou artificiel. La Partie II, Annexe 1, § 3 des Actes finals de la CARR SAT-83 réaffirme l'Appendice 28 du Règlement des radiocommunications comme le moyen de déterminer si une station de Terre pourrait être affectée.

10.2.4 *Brouillage causé par un émetteur du service fixe au récepteur d'une station spatiale du SRS*

Dans quelques cas peu fréquents, les émissions d'une station de Terre du service fixe peuvent causer des brouillages au récepteur d'une station spatiale du SRS (cas 4, Fig. 21). Comme dans le cas de brouillage décrit au § 10.2.1.2, l'antenne de réception de la station spatiale du SRS doit avoir un gain important dans la direction du limbe de la Terre. Il est possible qu'on mette en service ultérieurement des stations de Terre dans la portion de bande 17.7-18.1 GHz; les antennes de ces stations seront généralement pointées dans des directions s'écartant d'environ 1° de l'horizon. De ce fait, il pourra y avoir un plus grand nombre de cas de brouillage possibles qu'avec des satellites en position antipodale (voir le § 10.2.1.2). Toutefois, un brouillage ne sera causé que si la station du service fixe rayonne la p.i.r.e. maximale admissible (55 dBW) dans la direction de l'orbite des satellites géostationnaires et si la largeur de bande de ses émissions ne dépasse pas celle qui est utilisée sur la liaison de connexion au SRS. Compte tenu, d'une part, des plans typiques de répartition des canaux pour le service fixe dans cette bande, d'autre part des p.i.r.e. utilisées actuellement, on considère que cette situation de brouillage ne se présentera que rarement. Cependant, la CARR SAT-83 a adopté la Recommandation N° 4, où il est demandé au CCIR de poursuivre l'étude de cette situation de brouillage, étude qui a un caractère d'urgence et qui devra être achevée en temps utile pour la CAMR ORB-85.

10.2.5 *Brouillage causé par les stations des liaisons de connexion du SRS dans une région aux récepteurs des satellites du SRS dans une autre région*

Les récepteurs des stations spatiales de radiodiffusion par satellite d'une région donnée peuvent subir des brouillages qui sont causés par les émissions sur les liaisons de connexion d'une autre région (cas 5, Fig. 21). On peut limiter ou éliminer le brouillage à l'intérieur d'une même région en élaborant des plans régionaux et en modifiant les procédures prévues dans chacun de ces plans. La Partie II, Annexe 4, § 2 des Actes finals de la CARR SAT-83 a appliqué les dispositions de l'Appendice 29 pour limiter le brouillage causé par les liaisons de connexion du SRS des Régions 1 et 3 (dont la planification sera faite par la CAMR ORB) aux récepteurs de satellites du SRS de la Région 2, en adoptant comme critère de coordination une augmentation de ΔT de 10%.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOUCHARD, M. [1982] Planning of feeder links for broadcasting satellites at the RARC 1983. AIAA 8th Communications Satellite Systems Conference, Orlando, Fl., Etats-Unis d'Amérique.
- BRADFORD UNIVERSITY [1981] Studies on broadcast satellite feeder-link power control and forward adaptive cross-polar cancellation techniques (à paraître).
- BRAJAN, B. (1986) : Opcia metoda za proračun sveukupne ekvivalentne zastitne marže u analizi plana za radiodifuziju posredstvom satelita (Méthode générale pour le calcul des marges de protection équivalentes globales dans l'analyse d'un plan de radiodiffusion par satellite)**
Proceedings of ETAN, Zadar.
- FROMM, H. H. et McEWAN, N. J. [mai 1981] Direct broadcast satellite feeder links: an example of possible implications of the Regions 1 and 3 plan for feeder links to European broadcast satellite. Cycle d'études UIT pour la CARR 1983, Ontario, Canada.
- HECHLER, M. et VAN DER HA, J. C. [1980] The probability of collisions on the geostationary ring. *ASE J.*, Vol. 4, 277-286.
- OHM, E. A. [novembre 1981] Multi-fixed-beam satellite antenna with full area coverage and a rain tolerant polarization distribution. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-29, 6, 937-943.
- OHMI, K. [1985] - Power control of feeder links to broadcasting satellites considering the interference problem. Proceedings of the 15th International Symposium on Space Technology and Science (ISTS), Tokyo, Japon, Vol. 1, pages 1011-1018.
- SHELWELL, P. [1984] Satellite Broadcasting. The performance of C-MAC in a hardware simulation of a DBS transmission chain. BBC Research Department, Report BBC RD 1984/9.
- SHIMOSEKO, S., YAMAMOTO, M., KAJIKAWA, M. et ARAI, K. [septembre 1981] Satellite broadcasting experiments and in-orbit performance of BSE, 32^e congrès de la RAI, Rome, Italie. Document N° 81-75.
- STRICKLAND, J. J. [1974] *J. de Recherches Atm.*, Vol. III, N° 1-2.

Documents du CCIR

[1978-82]: a. 10-11S/43 (Canada); b. 10-11S/159 (UER); c. 10-11S/175 (Canada); d. 10-11S/151 (France); e. 10-11S/118 (Japon); f. 10-11S/158 (UER); g. GTI 10-11/1-25; h. 10-11S/127 (France); i. 10-11S/152 (France); j. 10-11S/9 (UER); k. 10-11S/129 (Japon); l. 10-11S/21 (Japon); m. 10-11S/120 (GTI 10-11/1); n. 10-11S/67 (France); o. 10-11S/128 (France); p. 10-11S/148 (Canada).

[1982-86]: a. 10-11S/12 (France); b. 10-11S/24 (Etats-Unis d'Amérique); c. 10-11S/134 (Japon); d. 10-11S/27 (Etats-Unis d'Amérique); e. 10-11S/36 (ASE); f. 10-11S/25 (Etats-Unis d'Amérique).

[1986-90]: a. 10-11S/105 (Japon); b. 10-11S/22 (Japon).

BIBLIOGRAPHIE

Documents du CCIR

[1978-82]: 10-11S/123 (UER).

ANNEXE I

CARACTÉRISTIQUES DES LOBES LATÉRAUX DES ANTENNES
D'ÉMISSION DE LIAISON DE CONNEXION
RÉSULTATS DES MESURES

On trouvera dans cette Annexe les résultats de quelques mesures effectuées sur des antennes appropriées à l'émission sur les liaisons de connexion vers les satellites de radiodiffusion.

Des mesures ont été faites au Canada sur une antenne de 8 m, de type Gregory, construite en 1979. Les résultats de ces mesures sont représentés graphiquement dans la Fig. 22. L'antenne, à polarisation rectiligne, était optimisée pour avoir des performances élevées d'émission et de réception à 14/12 GHz. On a constaté que le rendement était de 78%. Les résultats sont donnés pour trois fréquences de chaque bande (en bordure et au centre des bandes) et pour deux secteurs azimutaux (plans E et H). Cette antenne, qui semble être représentative de la nouvelle génération d'antennes, donne une enveloppe des lobes latéraux de $29 - 25 \log \phi$. Selon toute vraisemblance, les antennes de liaison de connexion qui devront être optimisées pour une seule bande de fréquences donneront également cette enveloppe à 17 GHz.

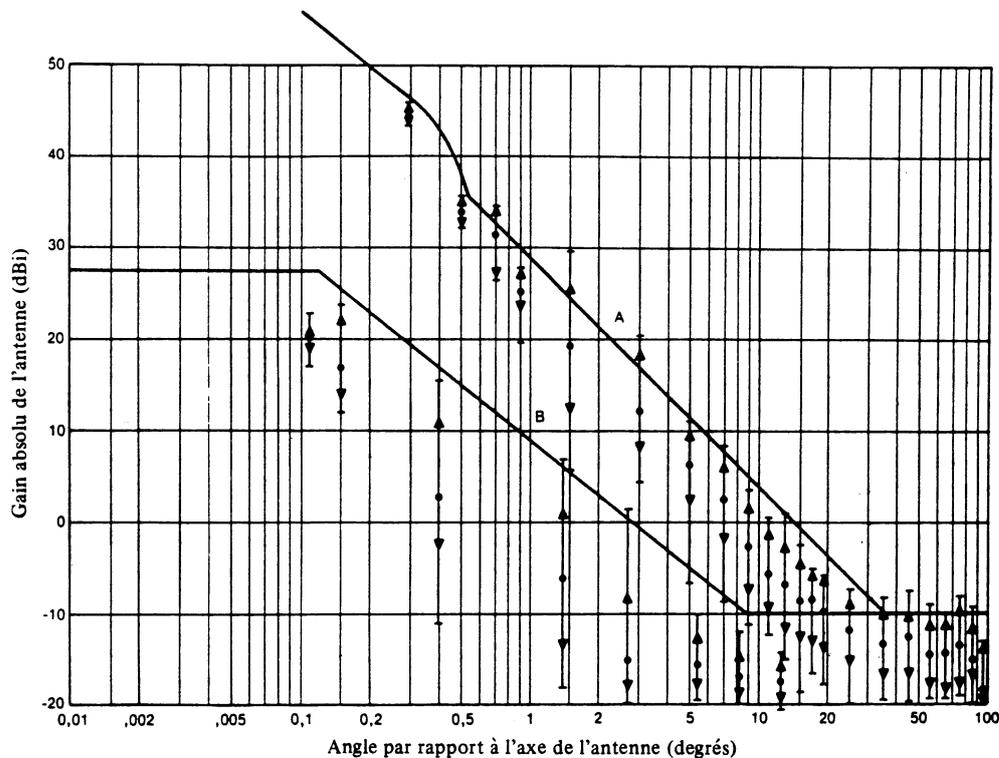


FIGURE 22 – Diagrammes copolaire et contrapolaire mesurés d'une antenne Gregory de 8 m à 14/12 GHz

Courbes A: composante copolaire

B: composante contrapolaire

┆ Limite supérieure

▲ Point à 10%, supérieur

● Valeur médiane

▼ Point à 10%, inférieur

┆ Limite inférieure

ANNEXE II

Caractéristiques opérationnelles et techniques des liaisons de connexion1. Introduction

Le plan des liaisons de connexion et ses dispositions associées ont été établis pour le SRS à 12 GHz, en Régions 1 et 3, par la CAMR ORB(2) de 1988. Pour étudier, en vue d'une meilleure exploitation, les caractéristiques des liaisons de connexion, il faut disposer de renseignements supplémentaires, en particulier pour surmonter le problème de l'affaiblissement par les fortes pluies et augmenter l'efficacité des stations terriennes transportables.

2. Exploitation des liaisons de connexion par temps de pluie

La liaison de connexion avec le satellite de radiodiffusion japonais (BS-2) est en service depuis 1984 et fonctionne dans la bande des 14,0 - 14,5 GHz. Presque tous les programmes de télévision sont émis à partir de la station terrienne principale mais les stations terriennes transportables et secondaires sont utilisées occasionnellement à diverses autres fins.

Le Tableau VII montre les caractéristiques techniques, les objectifs et les utilisations des stations terriennes NHK dans le système de radiodiffusion par satellite BS-2.

La station terrienne principale utilise une antenne de 8 m ayant une p.i.r.e. nominale de 80 dBW par temps clair pour obtenir un rapport C/N sur les liaisons de connexion d'environ 30 dB. Lorsque l'affaiblissement dû à la pluie est compris entre 3 et 6 dB, cette p.i.r.e. est augmentée de 3 dB (Etape 1) et lorsqu'elle dépasse 6 dB, la p.i.r.e. est augmentée de 6 dB (Etape 2).

La station terrienne principale est toujours prête à passer en exploitation de secours, en fonction des renseignements météorologiques et d'autres informations de provenances diverses, comme les radars à courte et à longue portées, les détecteurs de foudre, les données pluviométriques, les renseignements météorologiques et l'observation directe du ciel.

Actuellement, les stations secondaires sont situées à plusieurs centaines de kilomètres de la station principale. Cependant, pour assurer une exploitation de secours rapide et fiable, on a prévu, en diversité d'emplacements, de construire une autre station terrienne à quelque 50 km de la station principale, qui sera reliée par une liaison de Terre convenant pour acheminer des programmes de télévision.

La Figure 23 présente l'exemple d'un affaiblissement relativement modéré qui peut être compensé par l'exploitation en l'Etape 1 ou 2.

La Figure 25 présente l'exemple d'un nuage d'orage épais, d'étendue suffisante pour couvrir la région même en milieu de la journée, qui atteint les environs de la station terrienne et produit une précipitation de valeur mesurée, de plus de 50 mm/h. Dans ce cas, l'affaiblissement atteint 20 à 30 dB.

3. Système de stations terriennes transportables

Dans le système de radiodiffusion par satellite BS-2, on a de plus en plus besoin de petites stations ayant chacune une antenne de dimension réduite et consommant moins d'énergie, pour des raisons d'économie et de facilité d'exploitation.

En ce qui concerne l'antenne, les progrès de la technique ont permis de mettre au point des antennes à lobes latéraux réduits. Des stations terriennes transportables ayant une antenne de 2,5 m avec une p.i.r.e. de 74 - 77 dBW sont utilisées avec profit pour la transmission de différents types de programme de télévision. Il n'y a pas de régulation de puissance dans les stations transportables.

On pense qu'à l'avenir, au fur et à mesure du développement du service de radiodiffusion par satellite, il y aura de plus en plus de stations transportables, ce qui permettra de diversifier la production de programmes télévisés.

TABLEAU VII

Caractéristiques techniques et mission des stations terriennes
de connexion du système de radiodiffusion
par le satellite BS-2

	Station terrienne principale	Station terrienne secondaire	Stations terriennes transportables	
			Type B	Type C
Diamètre de l'antenne (m)	8	8	2,5	2,5
P.i.r.e.* ¹ (dBW)	86	84 ou 81	77	74
Emplacement	Tokyo	Osaka, Fukuoka* ² et Sapporo* ³	Tokyo	Villes principales
Exemples de missions* ⁴	A, F	B, D	C, F, E	B, C, E

*¹ Les p.i.r.e. d'une station terrienne transportable n'excèdent pas les p.i.r.e. correspondantes d'une station terrienne de référence (5 m de diamètre, 1 kW) pour des directions faisant avec l'axe un angle de 6, 12 et 18 degrés.

*² Ville importante, à 1 000 km à l'ouest de Tokyo.

*³ Ville importante, à 1 000 km au nord de Tokyo.

*⁴ Signification des lettres de cette ligne:

A: Transmission des programmes ordinaires (2 canaux, toute la journée)

B: Transmission des programmes ordinaires provenant des principales stations locales de la NHK

C: Transmission à partir du lieu d'événements importants

D: Fonctionnement en secours

E: Reportages urgents

F: Transmission expérimentale d'images de haute qualité (MUSE) et autres signaux



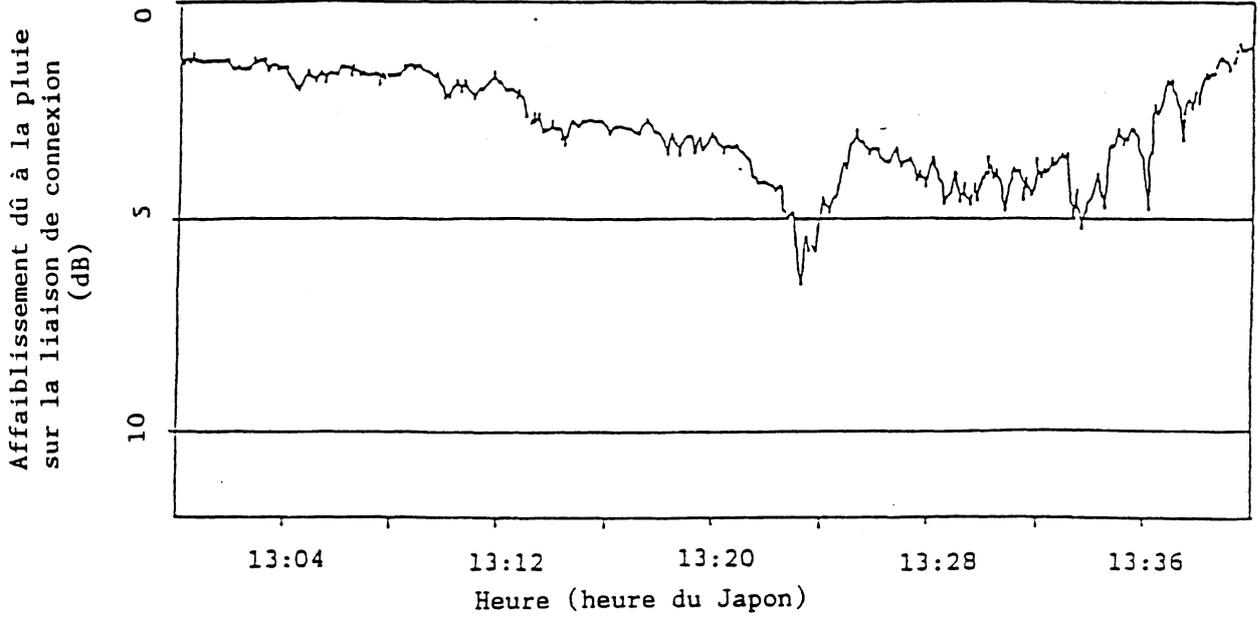


FIGURE 23

Affaiblissement sur la liaison de connexion au satellite BS-2 dû à une pluie d'intensité moyenne

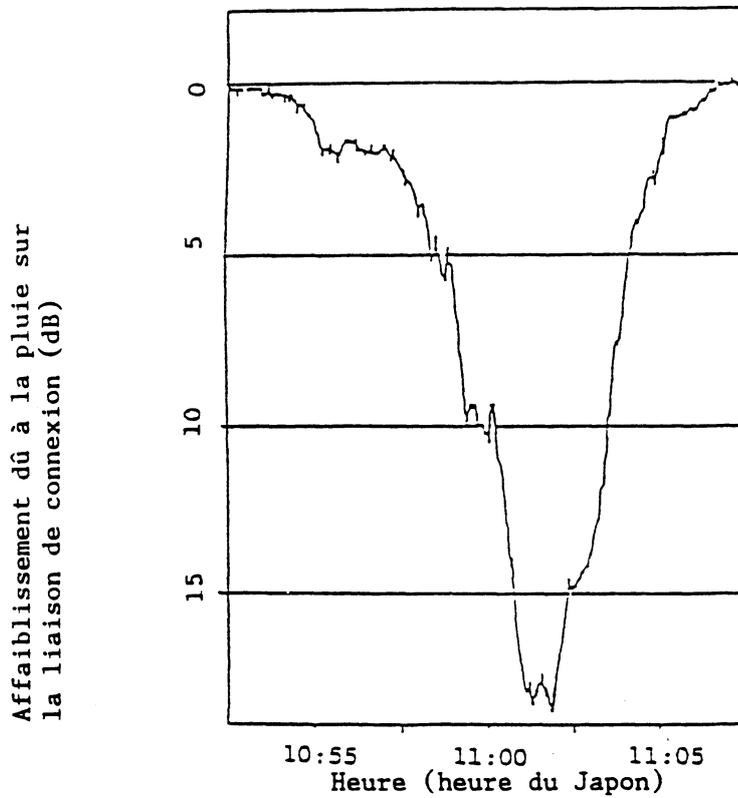


FIGURE 24

Affaiblissement sur la liaison de connexion au satellite BS-2 dû à une pluie forte

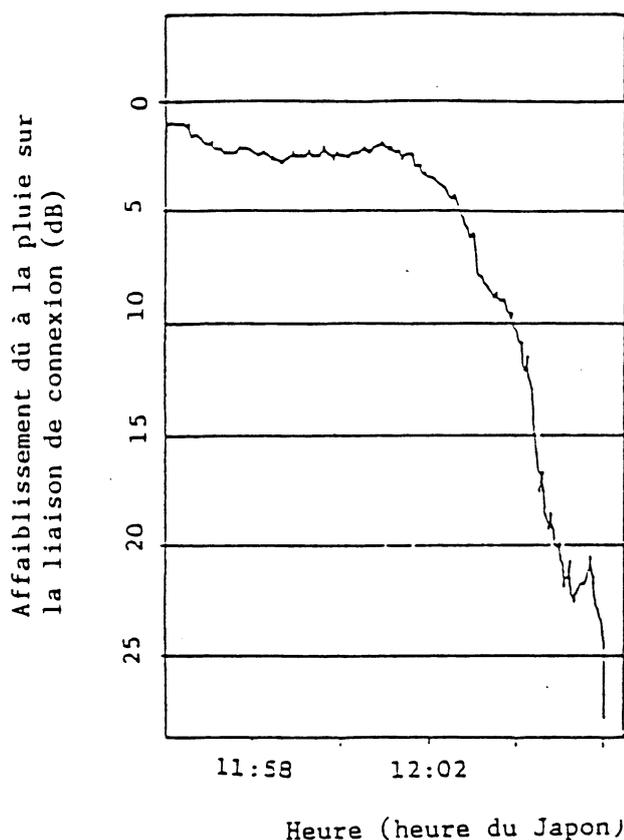


FIGURE 25

Affaiblissement sur la liaison de connexion au satellite BS-2
dû à une pluie très forte

ANNEXE III

Méthodes de régulation de la compensation des effets dus aux précipitations sur la liaison montante

1. Surveillance des balises de satellite

La régulation de puissance peut être réglée en fonction de l'affaiblissement mesuré d'un signal de balise de satellite. Ce signal est normalement de moindre puissance afin de conserver la puissance primaire du satellite. Un récepteur de poursuite à bande étroite comportant une marge raisonnable contre les évanouissements est utilisé pour la réception de ces signaux de balise.

Le signal de sortie des émetteurs normaux des balises varie en raison des modifications de la température. Normalement, la stabilité est maintenue dans une plage de ± 1 dB. Mais cette variation peut encore accroître les erreurs propres de la mesure du niveau de la balise.

2. Traitement à bord du satellite

La mesure du niveau de puissance reçu au satellite ou, si elle est appliquée, de la tension de commande de la CAG pourrait être codée ou renvoyée à la station terrienne de départ par l'intermédiaire d'un circuit de données à faible vitesse. Ces indications seraient reçues sur un récepteur à bande étroite.

Deux difficultés peuvent se présenter avec cette méthode:

- La fiabilité de l'équipement de mesure dans le segment spatial doit être très grande et des mesures distinctes seraient nécessaires pour chacune des liaisons de connexion reçues, ce qui accroît la complexité et le poids dans le segment spatial, ce qui devrait être évité autant que possible.
- Il conviendrait de tenir compte des affaiblissements dus aux défauts de pointage de la liaison montante tout autant que de l'affaiblissement dû à la pluie.

3. Mesure de la puissance sur la liaison descendante

Cette méthode est potentiellement très simple, mais elle souffre d'un certain nombre de difficultés:

- Le faisceau descendant peut ne pas être nécessairement reçu au point de départ de la liaison montante.
- Etant donné les caractéristiques de non-linéarité d'un émetteur-récepteur au voisinage de la saturation, une légère erreur de mesure pourrait donner lieu à une erreur importante sur la puissance de la liaison montante et à des difficultés parallèles de brouillage.
- L'emploi de la CAG serait interdit dans les satellites.

4. Radiomètre

Il existe une relation simple entre l'affaiblissement sur un trajet passant par ce milieu et le bruit thermique généré sur ce trajet.

La précision des radiomètres peut être diminuée par:

- le fait que les affaiblissements d'alimentation de l'antenne et que le diagramme d'alimentation de l'antenne ne sont pas idéaux;
- le fait que l'équilibre thermodynamique n'existe pas partout, en sorte que le milieu n'est pas un pur absorbeur, ce qui permet de conclure que la température physique de l'atmosphère n'est pas constante.

Si le bruit cosmique est ultérieurement intégré sur le diagramme de rayonnement de l'antenne, il peut se produire des erreurs pouvant atteindre 1 dB.
