

## RAPPORT 814-2

### FACTEURS A PRENDRE EN CONSIDÉRATION LORS DU CHOIX DE LA POLARISATION POUR PLANIFIER LE SERVICE DE RADIODIFFUSION PAR SATELLITE

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

(1978-1982-1986)

#### **1. Introduction**

Pour planifier le service de radiodiffusion par satellite dans la bande 11,7-12,5 GHz en Région 1, et dans la bande 11,7-12,2 GHz en Région 3, la polarisation circulaire dextrogyre et lévogyre a été adoptée. De même, dans la Région 2, la polarisation circulaire dextrogyre et lévogyre a été choisie pour le Plan du service de radiodiffusion par satellite dans la bande 12,2-12,7 GHz ainsi que pour le Plan associé des liaisons de connexion dans la bande 17,3-17,8 GHz. De plus, à la Conférence CAMR ORB-85, les bandes de fréquences, 14,5-14,8 GHz (pour les pays situés hors de l'Europe et à Malte) et 17,3-18,1 GHz ont été choisies pour la planification des liaisons de connexion pour le service de radiodiffusion par satellite dans les Régions 1 et 3. On a supposé que la polarisation circulaire serait utilisée pour la planification. Toutefois, la polarisation rectiligne pourrait être utilisée sous réserve de l'accord de toutes les administrations partageant la position orbitale donnée.

Le présent Rapport contient une récapitulation des facteurs qui ont motivé ce choix, d'une part pour faire le point de la question, d'autre part en prévision de la planification des systèmes futurs dans d'autres bandes, qui sont ou pourront être attribuées au service de radiodiffusion par satellite. Il est en outre proposé que les données contenues dans le présent Rapport soient périodiquement mises à jour.

#### **2. Comparaison entre la polarisation rectiligne et la polarisation circulaire**

On trouvera, dans le Tableau I, les avantages et inconvénients respectifs de la polarisation rectiligne et de la polarisation circulaire aux fins d'utilisation dans la radiodiffusion par satellite. Les symboles utilisés dans les deux dernières colonnes du tableau indiquent, pour chaque facteur, le type de polarisation, rectiligne (R) ou circulaire (C) jugé le meilleur. En évaluant ces avantages et ces inconvénients relatifs, il faut bien entendu admettre que, dans la pratique, les différents facteurs n'ont pas tous le même poids et que leur importance relative est aussi une question de jugement du point de vue technique.

Pour évaluer l'importance que revêt l'orientation d'une antenne de satellite dans le choix de la polarisation (rubrique 3 du Tableau I), on trouvera, dans l'Annexe I, une brève étude mathématique concernant l'influence de la géométrie des systèmes sur la polarisation rectiligne.

Le choix entre polarisation rectiligne et polarisation circulaire pour la planification du SRS est guidé par deux facteurs principaux:

- l'effet de l'affaiblissement et de la dépolarisation par la pluie sur les rapports  $C/N$  et  $C/I$ ;
- l'effet sur le brouillage du défaut d'alignement entre les vecteurs de polarisation rectiligne de référence et du défaut d'alignement des polariseurs des stations terriennes et des satellites.

La pluie a une influence sur les rapports  $C/N$  et  $C/I$  des ondes à polarisation rectiligne ou circulaire pendant de faibles pourcentages de temps. Par ailleurs, on peut donner les indications suivantes quant aux défauts d'alignement entre les signaux à polarisation rectiligne des réseaux brouilleurs et entre émetteurs et récepteurs:

- ces défauts n'ont aucun effet sur le rapport  $C/N$  des réseaux à polarisation rectiligne ou circulaire,
- ils n'ont aucun effet sur le rapport  $C/I$  des réseaux à polarisation circulaire,
- ils ont peu d'effet sur le rapport  $C/I$  copolaire des réseaux à polarisation rectiligne, mais
- ils ont un effet important sur le rapport  $C/I$  contrapolaire des réseaux à polarisation rectiligne.

Ces considérations sont importantes parce qu'on a ordinairement recours à la polarisation rectiligne pour améliorer le rapport  $C/I$  en présence de pluie. Cependant, il peut résulter du défaut d'alignement une diminution du rapport  $C/I$  jusqu'à un niveau très inférieur aux possibilités maximales de discrimination des antennes des satellites et des stations terriennes.

On a constaté que, même pour les zones de fortes précipitations, l'effet de la pluie sur les rapports  $C/I$  copolaire et contrapolaire est faible pendant tous les pourcentages de temps excepté pendant 1% du mois le plus défavorable. Pour les pourcentages de temps plus petits, l'effet de la pluie devient plus important et son effet sur le rapport  $C/I$  contrapolaire dépend du type de polarisation et des vecteurs de référence choisis pour la polarisation rectiligne.

Il existe deux systèmes de référence principaux pouvant servir à définir la polarisation rectiligne:

- *Polarisation rectiligne oblique*: La polarisation *verticale* est définie de la manière suivante: le vecteur polarisation est perpendiculaire à l'axe du faisceau de l'antenne du satellite et il est contenu dans le plan défini par l'axe du faisceau de l'antenne du satellite et la verticale locale. La polarisation *horizontale* est définie de la manière suivante: le vecteur polarisation est perpendiculaire à l'axe du faisceau de l'antenne du satellite et il est contenu dans le plan horizontal local. Ces vecteurs coïncideront avec la direction la plus voisine de l'horizontale locale ou de la verticale locale au point de visée de l'antenne du satellite.
- *Polarisation rectiligne équatoriale*: La polarisation *polaire* est définie de la manière suivante: le vecteur polarisation est perpendiculaire à l'axe du faisceau d'antenne du satellite et il est contenu dans le plan défini par l'axe du faisceau de l'antenne du satellite et une parallèle à l'axe des pôles de la Terre. La polarisation *équatoriale* est définie de la manière suivante: le vecteur polarisation est perpendiculaire à l'axe du faisceau de l'antenne du satellite et parallèle au plan équatorial.

En général, pour obtenir les meilleures performances avec la polarisation rectiligne, deux conditions doivent être remplies qui sont, dans la plupart des cas, incompatibles. D'une part, le signal doit être reçu en polarisation verticale. D'autre part, les signaux brouilleurs à polarisation orthogonale doivent être reçus exactement à 90% par rapport au signal utile. Pour des raisons de géométrie, ces deux conditions ne peuvent être remplies simultanément.

On peut obtenir des performances légèrement supérieures avec la polarisation rectiligne lorsque le vecteur de référence est défini comme étant perpendiculaire au plan équatorial et cela, pour tous les systèmes copolaires si le défaut d'alignement du récepteur ne dépasse pas 3°. Autrement dit, la polarisation n'est pas reçue verticalement et la première condition n'est pas remplie. Etant donné que cette amélioration est considérée comme secondaire, compte tenu des contraintes supplémentaires imposées à l'alignement du polariseur du récepteur, il est donc proposé de recourir à la polarisation circulaire pour la planification du service de radiodiffusion par satellite.

On trouvera des renseignements sur la dépolarisation due à la pluie dans les Rapports 722 et 564.

### 3. Résultats expérimentaux

Une étude a été faite au Canada sur le choix entre polarisation rectiligne et polarisation circulaire pour les liaisons descendantes du SRS. On admet que le pouvoir de discrimination contrapolaire d'une antenne de station terrienne,  $XPI_{ES}$ , est compris entre 20 et 25 dB, et que le  $XPI_{SAT}$  d'une antenne de satellite est compris entre 27 et 33 dB, tant en polarisation rectiligne qu'en polarisation circulaire.

On a étudié l'influence de l'affaiblissement et de la dépolarisation par la pluie sur le rapport  $C/I$  d'une liaison descendante, pour les zones hydrométéorologiques E, K et N, en appliquant le modèle pluviométrique du Rapport 564. Les résultats ont montré que pendant 99% du mois le plus défavorable, cet affaiblissement et cette dépolarisation ont très peu d'effet sur le rapport  $C/I$  copolaire et contrapolaire. Pour des pourcentages de temps plus faibles, l'effet de l'affaiblissement et de la dépolarisation par la pluie sur  $C/I$  contrapolaire dépend du type de polarisation et des vecteurs de référence considérés pour la polarisation rectiligne. La Fig. 1 donne les résultats relatifs à la disponibilité de  $C/I$  contrapolaire entre des faisceaux de satellite homogènes sur une liaison descendante (largeur du faisceau 2°), lorsqu'on utilise respectivement une polarisation rectiligne oblique, une polarisation rectiligne équatoriale ou une polarisation circulaire.

TABLEAU I — Comparaison entre la polarisation rectiligne et la polarisation circulaire

Facteur	Remarques	Avantage <sup>(1)</sup>
1. Alignement de l'antenne de réception	L'alignement de la direction de polarisation n'est pas nécessaire pour la polarisation circulaire.	C
2. Effet du défaut d'alignement sur la contrapolarisation	Défaut d'alignement de la direction de polarisation des antennes de réception et d'émission nécessaire avec la polarisation rectiligne. Marge de protection contrapolaire supplémentaire de 2 à 4 dB par rapport à la polarisation circulaire.	C
3. Orientation de l'antenne du satellite	Avec la polarisation rectiligne, le plan de polarisation ne correspondra pas, en général, au grand axe et au petit axe d'un faisceau à section elliptique; donc:	C
	a) il peut être difficile d'obtenir une bonne réaction contrapolaire avec la polarisation rectiligne (notamment pour des faisceaux elliptiques);	C
	b) le transfert sur un satellite de réserve ayant une autre position orbitale serait probablement plus difficile avec la polarisation rectiligne, étant donné la nécessité de réaligner le plan de polarisation.	C
4. Partage avec d'autres services	a) Si la polarisation circulaire est choisie pour la radiodiffusion par satellite et si les autres services utilisent la polarisation rectiligne, une protection de 3 dB entre ces services et la radiodiffusion par satellite est assurée;	C
	b) si la radiodiffusion par satellite ainsi que les autres services (service fixe par satellite et services de Terre) utilisent la polarisation rectiligne, il peut être possible, dans des cas isolés où le brouillage dominant arrive près du faisceau principal d'une antenne de réception, d'accroître l'isolation en recourant à la polarisation orthogonale.	R
5. Effets de propagation	La polarisation circulaire dépend plus des conditions atmosphériques que la polarisation rectiligne pour des taux de précipitations élevés (plus de 12,5 mm/h) et de petits angles d'arrivée. Par exemple, selon certaines mesures effectuées en Suisse [CCIR, 1974-78], l'affaiblissement contrapolaire peut être égal à 20 dB pour 1% du temps avec la polarisation circulaire. Cet inconvénient de la polarisation circulaire peut ne pas être important si on le compare à l'émission en polarisation rectiligne sur un plan de 45° ou à proximité [Shkarofski et Moody, 1976].	R

(1) C: circulaire

R: rectiligne

L'angle de site du satellite est de 25°. On admet que l'antenne de la station terrienne est pointée exactement sur le satellite et alignée sur la polarisation utile. Cependant, le défaut d'alignement de polarisation  $B_R$  est de 0,1° pour la polarisation rectiligne équatoriale et de 10,3° pour la polarisation rectiligne oblique. Les angles d'inclinaison correspondants pour le faisceau utile et le faisceau brouilleur sont d'environ 5° et 10° respectivement pour la polarisation oblique et pour la polarisation équatoriale.

La figure montre que, pour un affaiblissement de 1 dB, le rapport  $C/I$  contrapolaire est de 19,5 dB en polarisation circulaire et en polarisation rectiligne équatoriale. Toutefois, pour la polarisation rectiligne oblique, le défaut d'alignement,  $B_R(10,3^\circ)$ , a pour effet de ramener  $C/I$  contrapolaire à la valeur 13,5 dB pour un affaiblissement de 1 dB dû à la pluie.

Pour des valeurs plus élevées de cet affaiblissement, la valeur de  $C/I$  dépend de l'affaiblissement différentiel entre les polarisations rectiligne, horizontale et verticale, et de la dépolarisation. C'est la polarisation verticale oblique qui est la moins affaiblie; elle donne par conséquent des valeurs plus favorables de  $C/I$  que la polarisation horizontale équatoriale, la polarisation circulaire et même la polarisation verticale équatoriale. Toutefois, ces variations du rapport  $C/I$  contrapolaire interviennent généralement pendant les très faibles pourcentages de temps où l'affaiblissement du signal est excessif (supérieur à 10 dB).

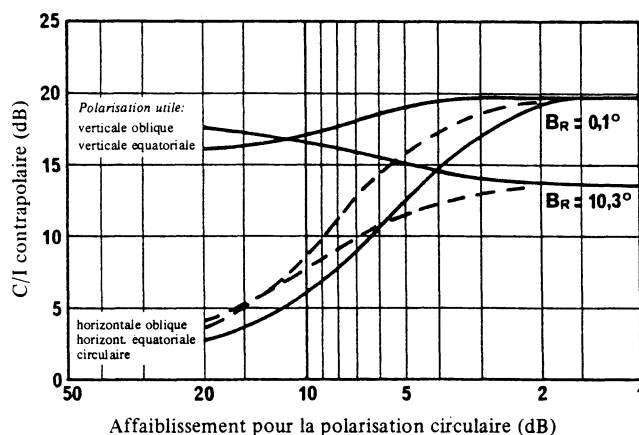


FIGURE 1 – Disponibilité du rapport  $C/I$  contrapolaire à la limite de zone de couverture entre des satellites copositionnés donnant des empreintes de faisceau adjacentes.  
(On admet que l'alignement des antennes est parfait.)

Liaisons descendantes 12 GHz  
Satellites copositionnés  
Ouverture du faisceau de l'antenne de satellite:  $2^\circ$   
Angle de site:  $25^\circ$   
 $XPI_{ES} = +20$  dB  
 $XPI_{SAT} = +33$  dB

Si on néglige l'effet de la pluie sur le rapport  $C/I$  à 12 GHz, on obtient la courbe de la Fig. 2 qui donne la variation de  $C/I$  par atmosphère claire en fonction du défaut d'alignement total,  $B_T$ , entre réseaux à polarisation rectiligne; les valeurs sont comparées à celles qu'on obtient en polarisation circulaire. La figure met en évidence la décroissance rapide de  $C/I$  contrapolaire par atmosphère claire en fonction du défaut d'alignement entre les polarisations rectilignes. Pour tout défaut d'alignement supérieur à  $5^\circ$  et à  $2^\circ$ , des antennes de réception à polarisation circulaire, avec  $XPI = 20$  et  $25$  dB, donnent un  $C/I$  contrapolaire plus grand que des antennes à polarisation rectiligne. La figure donne aussi quelques valeurs représentatives du défaut d'alignement total  $B_T$ , dans les hypothèses suivantes: erreur de rotation de l'antenne du satellite  $B_S = \pm 1^\circ$ , et erreur d'alignement de la station terrienne  $B_{ES} = \pm 5^\circ$ , pour une polarisation rectiligne équatoriale ou oblique. Il semble qu'il soit difficile d'aligner et de maintenir les polariseurs de millions d'antennes de réception de prix modique à moins de  $5^\circ$  de la polarisation utile.

Si le défaut d'alignement total maximal est de  $5^\circ$ , on peut obtenir pour le rapport  $C/I$  contrapolaire une valeur plus élevée en polarisation rectiligne qu'en polarisation circulaire, selon le pouvoir de discrimination de l'antenne. Un défaut d'alignement maximal de  $5^\circ$  ne peut être obtenu qu'avec une polarisation rectiligne équatoriale, et sous réserve de pouvoir aligner le polariseur du récepteur à moins de  $3^\circ$  environ de la polarisation utile, et de conserver cet alignement. Dans la majorité des cas, l'utilisation d'une polarisation rectiligne oblique avec une valeur minimale type de  $4^\circ$  pour  $B_R$  donnerait des valeurs de  $C/I$  moins bonnes que la polarisation circulaire.

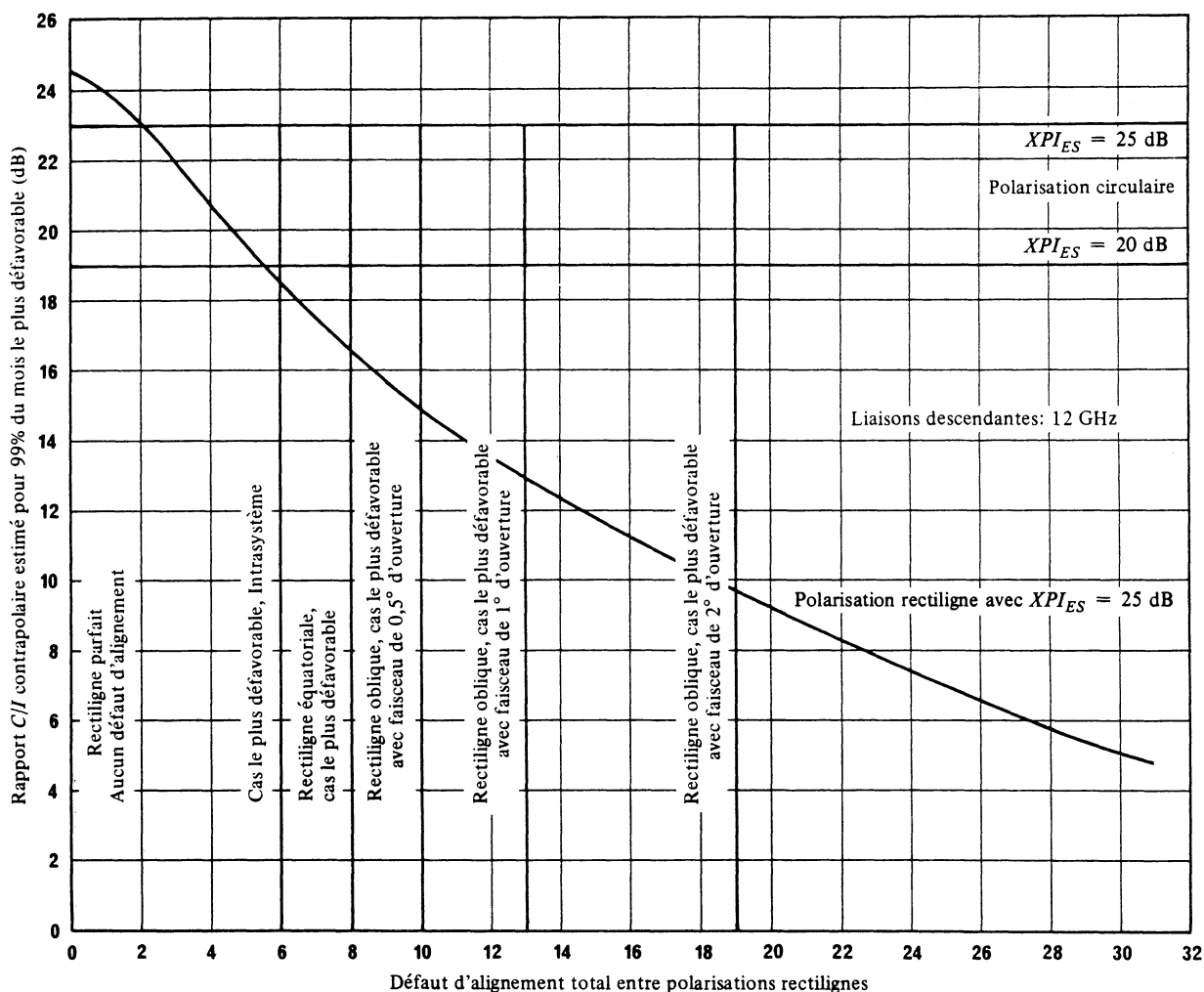


FIGURE 2 – Rapport C/I contrapolaire par temps clair entre faisceaux de satellites adjacents rayonnés par un satellite à destination d'une station terrestre située au point commun des contours à  $-3$  dB

(Cas le plus favorable pour une polarisation rectiligne équatoriale et pour une polarisation circulaire, et cas le plus défavorable pour une polarisation rectiligne oblique.)

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

SHKAROFSKI, I. P. et MOODY, H. J. [septembre 1976] Performance characteristics of antennas for direct broadcasting satellite systems including effects of rain depolarization. *RCA Rev.*, Vol. 37, 3, 279-319.

*Documents du CCIR*

[1974-78]: 9/248 (Suisse).

#### ANNEXE I

##### EFFETS DE LA GÉOMÉTRIE DES SYSTÈMES SUR LA POLARISATION RECTILIGNE

Dans le cas de la polarisation rectiligne, l'angle de polarisation à la réception variera en fonction de la latitude et de la longitude de la station de réception au sol par rapport à la longitude du point de projection du satellite. Cela tient à la variation d'orientation du système de référence (l'horizontale et la verticale locales) par rapport à l'emplacement géographique relatif.

L'angle de polarisation de l'onde incidente avec polarisation rectiligne, en supposant que le vecteur polarisation de l'onde émise soit parallèle au plan équatorial, est donné par (sans tenir compte de la rotation de Faraday qui est négligeable à 12 GHz):

$$\theta_p = \text{arc tg} \left\{ (\sin \Delta\lambda / \text{tg } \varphi) \sqrt{1 + [\sin \theta / (\beta - \cos \theta)]^2} \right\}$$

où

$\theta_p$ : angle de polarisation de l'onde incidente, mesuré à partir de l'intersection du plan horizontal local et du plan perpendiculaire à la direction dans laquelle le satellite est vu du terminal de réception au sol,

$\Delta\lambda$ : longitude relative de la station de réception au sol,

$\theta$ : angle au centre de la Terre entre le point de projection du satellite et la station de réception au sol ( $\theta = \text{arc cos} [\cos \Delta\lambda \cos \varphi]$ ), et

$\beta$ : 6.62 (rayon de l'orbite des satellites géostationnaires divisé par le rayon terrestre).

Cette variation de l'angle de polarisation est illustrée dans la Fig. 3 pour diverses latitudes et longitudes relatives. L'angle  $\theta_p$  est l'angle formé entre le petit vecteur et l'axe  $\Delta\lambda$ . Les contours, pour des angles de site de 0 et 20°, sont aussi indiqués.

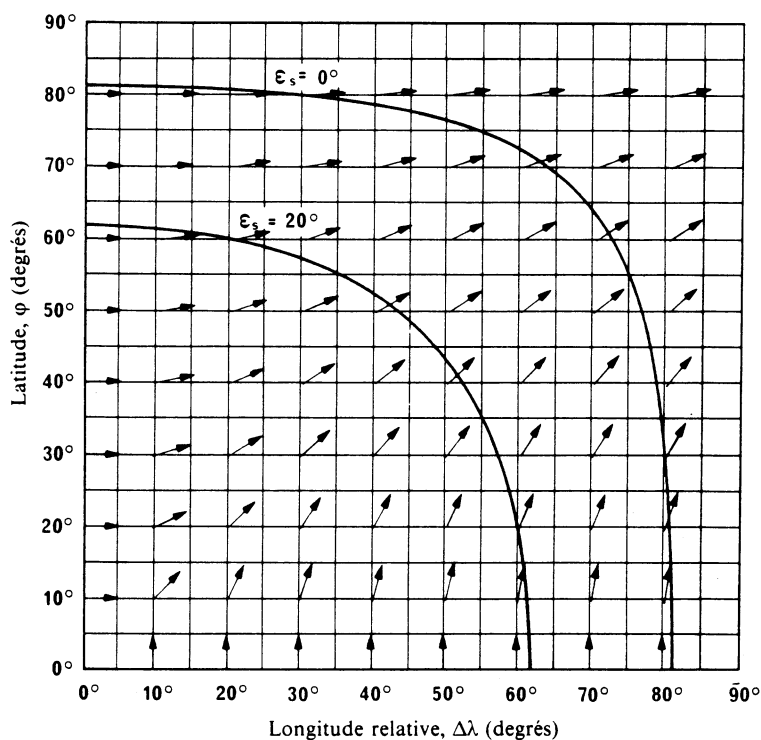


FIGURE 3 — Variation de l'angle de polarisation reçu sur la Terre

$\epsilon_s$ : angle de site

L'angle de polarisation varie beaucoup selon l'emplacement géographique. Il semble donc impossible d'aligner la polarisation de l'onde émise pour qu'elle soit reçue verticalement en tous points de la zone de service.

Compte tenu de cette variation de l'angle de polarisation avec la latitude et avec la longitude relative, le simple choix de la polarisation horizontale (le vecteur polarisation étant parallèle au plan équatorial) pour la station spatiale dans le service de radiodiffusion par satellite ne garantira pas qu'elle sera reçue orthogonalement par rapport au vecteur polarisation désiré (en général vertical) dans les systèmes de Terre.