

RECOMMANDATION UIT-R BO.791^{*,**}**Choix de la polarisation pour le service de radiodiffusion par satellite^{***}**

(1992)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que le choix de la polarisation qu'utilise le service de radiodiffusion par satellite (SRS) a une influence sur la qualité du système, l'utilisation du spectre et de l'orbite et les brouillages entre le SRS et les services qui partagent la même bande de fréquences;
- b) que le défaut d'alignement entre les signaux à polarisation rectiligne des réseaux brouilleurs et entre émetteurs et récepteurs:
- n'a pas d'effet sur le rapport C/N des réseaux à polarisation rectiligne ou circulaire,
 - n'a pas d'effet sur le rapport C/I des réseaux à polarisation circulaire,
 - a peu d'effet sur le rapport C/I copolaire des réseaux à polarisation rectiligne, mais
 - a un effet important sur le rapport C/I contrapolaire des réseaux à polarisation rectiligne;
- c) que, compte tenu de l'affaiblissement et de la dépolarisation par la pluie qui se produisent dans l'atmosphère, la polarisation rectiligne peut se révéler nettement avantageuse par rapport à la polarisation circulaire (voir l'Annexe 1);
- d) qu'avec la polarisation rectiligne il serait très difficile de réaliser un alignement précis pour la réception par des récepteurs portatifs ou à bord de véhicules;
- e) que pour certaines bandes de fréquences attribuées au SRS et aux liaisons de connexion associées, il existe dans le Règlement des radiocommunications des plans d'attribution de fréquences avec utilisation de la polarisation circulaire et que certains réseaux sur satellite, existants ou en projet, sont ou vont être exploités dans ces bandes,

recommande

1 que l'on ait recours à la polarisation circulaire lorsqu'on veut assurer la réception par des récepteurs portatifs ou à bord de véhicules, sauf dans les conditions décrites au § 2;

* *Note* – Le Rapport UIT-R BO. 814-2 a servi de base à l'élaboration de la présente Recommandation.

** La Commission d'études 6 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2001 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 44.

*** Cette Recommandation doit être portée à l'attention des Commissions d'études 3, 4 et 9 des radiocommunications.

2 que, dans les bandes de fréquences où les effets de l'atmosphère sont prédominants et où l'on veut réutiliser au mieux les fréquences à partir d'une même position orbitale, on prenne en compte les avantages de la polarisation linéaire. S'il faut l'utiliser, il conviendra de la décrire avec précision et de donner toutes les informations supplémentaires dont le Comité du Règlement des radiocommunications a besoin pour déterminer les administrations affectées.

NOTE 1 – Un résumé des facteurs motivant le choix de la polarisation est donné dans l'Annexe 1;

3 que, dans les bandes faisant l'objet de plans, on tienne compte, pour le choix de la polarisation recommandée au § 2, de la polarisation adoptée dans ces plans.

ANNEXE 1

1 Introduction

Pour planifier le SRS 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 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.

La présente Annexe contient un récapitulatif des facteurs qui ont motivé ce choix tant en ce qui concerne la notification que la conception des futurs systèmes dans d'autres bandes qui sont ou qui pourraient être attribuées au service de radiodiffusion par satellite.

2 Comparaison entre la polarisation rectiligne et la polarisation circulaire

Le type de polarisation a une influence sur la conception du système et du service. Bien que les Plans de la CAMR-RS-77 et de la CARR SAT-83, et le Plan des liaisons de connexion de la CAMR ORB-88 utilisent la polarisation circulaire, la polarisation rectiligne présente quelques nets avantages par rapport à la polarisation circulaire. L'un de ces avantages est un facteur d'amélioration de la polarisation croisée qui varie avec l'angle d'inclinaison de la polarisation et qui atteint 15 dB pour des inclinaisons locales de la polarisation de 0° et 90°. Un autre avantage de la polarisation linéaire tient aussi au fait qu'il est plus facile d'obtenir dans l'antenne de réception une réduction des lobes latéraux copolaires et une discrimination contrapolaire convenables.

On trouvera, dans le Tableau 1, 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 1), on trouvera, dans l'Appendice 1, une brève étude mathématique concernant l'influence de la géométrie des systèmes sur la polarisation rectiligne.

TABLEAU 1

Comparaison entre la polarisation rectiligne et la polarisation circulaire

Facteur	Remarques	Avantage (1)
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
	<i>a)</i> il peut être difficile d'obtenir une bonne réaction contrapolaire avec la polarisation rectiligne (notamment pour des faisceaux elliptiques);	C
	<i>b)</i> 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	<i>a)</i> Si la polarisation circulaire est choisie pour la radiodiffusion par satellite et si les autres services utilisent la polarisation rectiligne, une protection pouvant aller jusqu'à 3 dB entre ces services et la radiodiffusion par satellite est assurée;	C
	<i>b)</i> 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 à 12 GHz, 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.	R

(1) C: circulaire R: 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.

3 Résultats expérimentaux

Une étude a été faite 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 de la Recommandation UIT-R P.618. Les résultats ont montré que pour tous les pourcentage du mois le plus défavorable (sauf pour 1%), l'effet de l'affaiblissement et de la dépolarisation par la pluie sur les C/I copolaire et contrapolaire est très faible. Pour des pourcentages de temps plus faibles, l'effet de l'affaiblissement et de la dépolarisation par la pluie sur le 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.

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 $0,1^\circ$ pour la polarisation rectiligne équatoriale et de $10,3^\circ$ 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 Fig. 1 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).

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

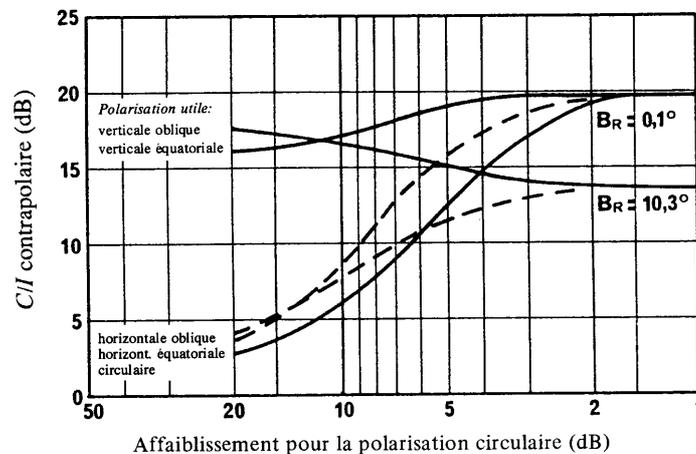
d'alignement supérieur à 5° et à 2° , des antennes de réception à polarisation circulaire, avec $XPI = 20$ et 25 dB, donnent un C/I contrapolaire plus grand que des antennes à polarisation rectiligne. La figure donne aussi quelques valeurs représentatives du défaut d'alignement total B_T , dans les hypothèses 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° de la polarisation utile.

Si le défaut d'alignement total maximal est de 5° , 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° ne peut être obtenu qu'avec une polarisation rectiligne équatoriale, et sous réserve de pouvoir aligner le polariseur du récepteur à moins de 3° 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° pour B_R donnerait des valeurs de C/I moins bonnes que la polarisation circulaire.

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)

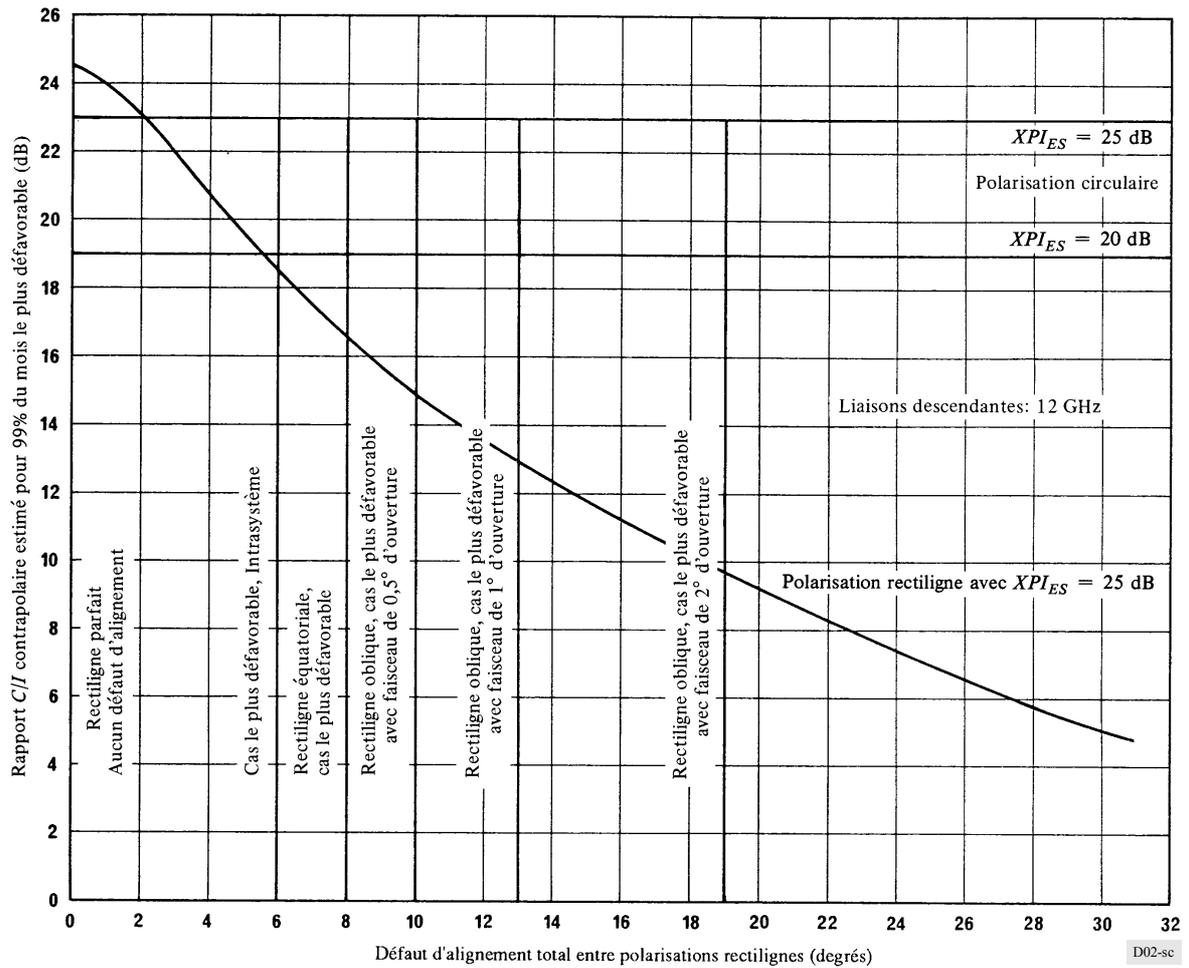


Liaisons descendantes 12 GHz
 Satellites copositionnés
 Ouverture du faisceau de l'antenne de satellite: 2°
 Angle de site: 25°
 $XPI_{ES} = +20$ dB
 $XPI_{SAT} = +33$ dB

D01-sc

FIGURE 2

Rapport C/I contrapolaire par temps clair entre faisceaux de satellites adjacents rayonnés par un satellite à destination d'une station terrienne 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)



D02-sc

APPENDICE 1

À L'ANNEXE 1

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):

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

où:

θ_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

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

β : 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 θ_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.

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.

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

