

RAPPORT 1048-1
**TECHNIQUES DE RÉDUCTION DES ÉVANOUISSEMENTS
APPLICABLES AUX ANTENNES DES STATIONS TERRIENNES DE NAVIRE**

(Question 88/8)

(1986-1990)

1. Introduction

Pour les systèmes à faible rapport G/T , l'effet des évanouissements par trajets multiples lié à la réflexion à la surface de la mer est un grave problème, surtout à de faibles angles de site, comme il est démontré dans le § 5 du Rapport 921. Le présent Rapport passe en revue les techniques de réduction des évanouissements qui pourraient être appliquées aux antennes de stations terriennes de navire à faible rapport G/T ; on y trouvera également des résultats expérimentaux des effets de réduction obtenus dans la pratique. Les antennes dont il est question à propos des essais mentionnés ici sont décrites plus en détail dans le Rapport 921.

2. Description des techniques de réduction des évanouissements

Les méthodes suivantes sont conçues comme des techniques de réduction des évanouissements applicables à des antennes de stations terriennes de navire à faible rapport G/T :

- Méthode de diversité
- Méthode de polarisation
- Méthode de modelage des faisceaux
- Méthode de poursuite à niveau maximal
- Méthode de décalage du faisceau

2.1 Méthode de diversité

On a déjà utilisé dans la pratique les techniques de diversité (d'espace, de polarisation et de fréquence) pour les systèmes de radiocommunication exposés à des évanouissements profonds. La diversité d'espace nécessite deux antennes ou plus, alors que l'on peut mettre en œuvre d'autres techniques de diversité avec une seule antenne. De toute manière, l'effet de réduction des évanouissements dépend largement de la corrélation qui existe entre des signaux ayant des propriétés différentes (fréquence, polarisation, différence de marche). La Fig. 1 illustre le principe de la diversité d'espace avec algorithme «commutation et maintien» [Kozono et Yoshikawa, 1981]. Cette figure donne le résultat de la diversité $R(t)$, les niveaux des signaux passant par les antennes N° 1 et N° 2 étant respectivement $r_1(t)$ et $r_2(t)$. Avec cette technique, on peut s'attendre à un effet de réduction d'autant plus élevé que la corrélation entre les signaux des deux antennes est plus petite. Dans la pratique, il n'est pas toujours possible d'installer les antennes avec un espacement optimal d'une demi-longueur d'onde.

Avec la méthode de diversité de fréquence, on peut obtenir un bon effet de réduction quand la différence de marche entre l'onde directe et l'onde réfléchi est supérieure à une longueur d'onde de la fréquence différence entre les deux fréquences utilisées. En admettant que la hauteur de l'antenne du navire soit de 15 m, que l'angle de site soit de 5° et que la fréquence différence soit de 15 MHz, ce qui représente l'espacement maximal dans la bande des 1,6 GHz attribuée actuellement au service mobile maritime par satellite, la différence de marche n'est plus que de 0,14 fois la longueur d'onde de la fréquence différence, tout au plus. Par conséquent, la diversité de fréquence ne semble pas réalisable pour l'instant, en raison de l'espacement limité entre les deux fréquences. Cependant, si la bande de fréquences devait être élargie dans l'avenir, cette méthode serait applicable.

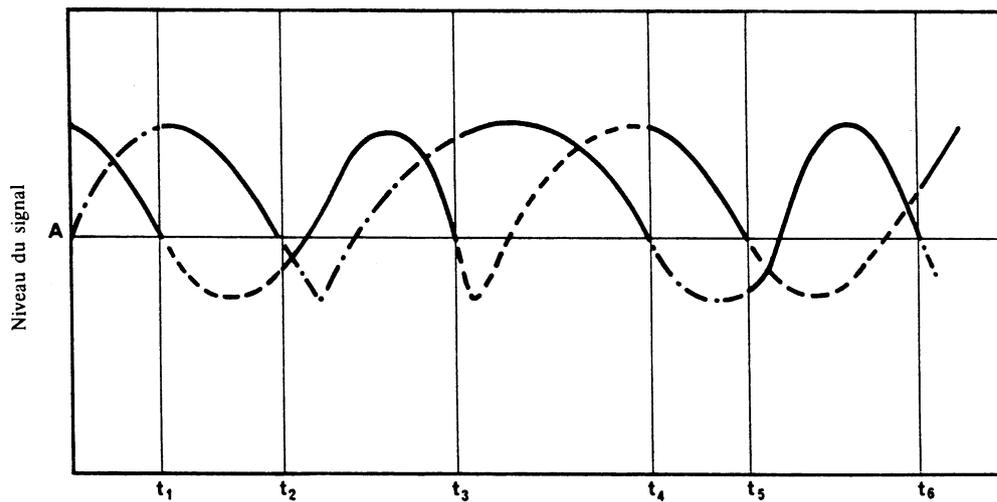


FIGURE 1 – Principe de l'algorithme commutation et maintien

- · - · - $r_1(t)$
 - - - $r_2(t)$
 ——— $R(t)$

Note. – Le signal à l'entrée du récepteur est commuté sur l'antenne dont le niveau de sortie augmente lorsque le niveau d'entrée de l'antenne choisie tombe en dessous d'un niveau prédéterminé «A».

2.2 Méthode de polarisation

Dans les réflexions à la surface de la mer à 1,64/1,54 GHz, l'onde à polarisation rectiligne horizontale est réfléchiée de façon presque parfaite, tandis que l'onde à polarisation verticale est réfléchiée en subissant un affaiblissement assez grand aux angles d'incidence de moins de 10° par rapport au plan horizontal. En outre, l'angle de phase d'une onde à polarisation verticale varie de façon continue à mesure que l'angle de site augmente, tandis que l'angle de phase d'une onde à polarisation horizontale ne change pas, sauf si les angles de site sont très élevés. Pour un angle de site supérieur à 6° environ, la relation phase/amplitude entre les composantes horizontales et verticales d'une onde incidente à polarisation circulaire est telle que l'onde, une fois réfléchiée, devient elliptique, avec inversion du sens de rotation, son grand axe étant presque horizontal. (L'angle de site de 6° environ est l'angle de Brewster à 1,5/1,6 GHz sur des trajets maritimes; pour un complément d'information, voir le Rapport 1008.) En conséquence, si l'on pouvait ajuster l'ellipse de polarisation d'une antenne de bord en direction de l'onde réfléchiée de manière qu'elle reste toujours perpendiculaire à celle de l'onde réfléchiée, on pourrait supprimer l'onde réfléchiée. Ce principe [Shiokawa et Karasawa, 1982] peut être facilement appliqué aux antennes alimentées par doublets croisés, comme l'antenne courte à rayonnement vers l'arrière. En effet, si on incline les doublets croisés de 45° sur l'horizontale, et si on règle le réseau de déphasage placé à l'une des entrées d'alimentation de l'antenne (voir la Fig. 2a)), on pourrait agir de façon arbitraire sur le taux d'ellipticité. Dans ce cas, le grand axe de cette ellipse de polarisation est toujours vertical, comme le montre la Fig. 2b).

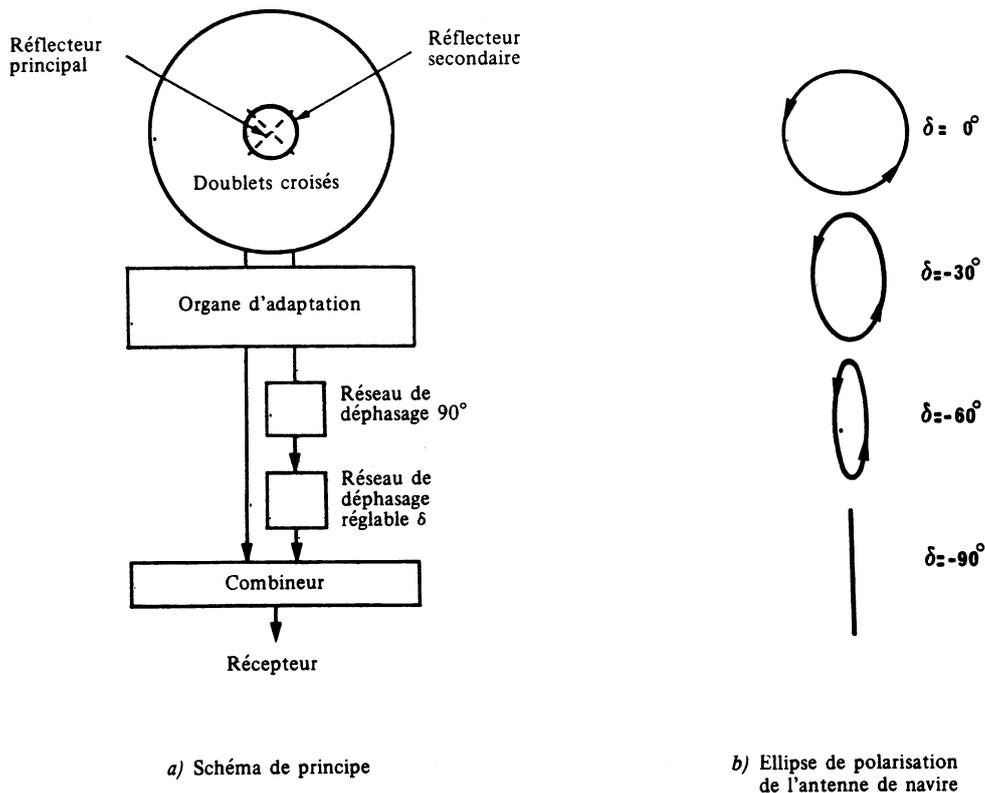


FIGURE 2 – Méthode de polarisation (A) sur l'antenne courte à rayonnement vers l'arrière

Récemment, on a proposé une autre technique de réduction par la méthode de polarisation [Ohmori et Miura, 1983]. Cette méthode (méthode de polarisation (B)) utilise les caractéristiques de polarisation des ondes réfléchies par la mer et les caractéristiques électriques d'un combineur hybride. Elle est basée sur la différence des coefficients de réflexion de la surface de la mer dans le cas de polarisation circulaire, respectivement pour l'onde copolaire et l'onde contrapolaire. Dans ce cas, on constate que l'amplitude de la composante circulaire contrapolaire est plus grande que celle de la composante copolaire quand l'angle de site est supérieur à environ 6° . En conséquence, si on égale les amplitudes des deux composantes réfléchies et si on les règle en opposition de phase ($\pm 180^\circ$) l'une par rapport à l'autre, il devrait être possible d'obtenir seulement une onde directe, sans évanouissements. Dans cette méthode, un déphaseur (qui est préprogrammé pour optimiser le déphasage à un angle de site déterminé) et un combineur de puissance ont été ajoutés à l'équipement normal de l'antenne à polarisation circulaire, comme le montre la Fig. 3: les composantes copolaires des ondes directe et réfléchie sortent à la borne T3, et la composante contrapolaire de l'onde réfléchie sort à la borne T4. Bien que cette méthode ait quelques inconvénients, tels que l'accroissement de l'affaiblissement d'insertion lié à la perte de 3 dB du combineur de puissance, ainsi que l'accroissement de la température de bruit dû à l'affaiblisseur, on s'attend à un grand effet de réduction surtout quand l'évanouissement est très profond.

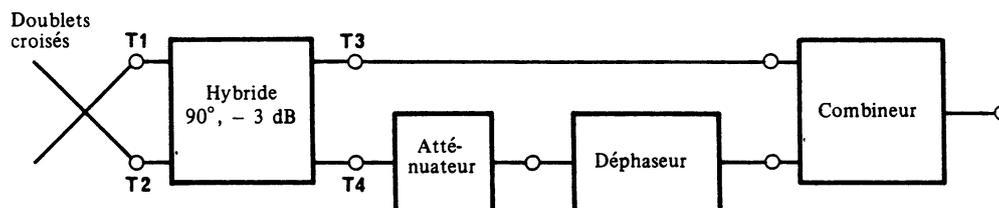


FIGURE 3 – Dispositif expérimental pour la méthode de polarisation (B)

2.3 Méthode de modelage des faisceaux

Il est possible de supprimer la réception d'un signal réfléchi en utilisant une antenne à faisceau modelé qui se caractérise par un faible gain en direction de l'onde réfléchi par la mer. On peut appliquer cette méthode en utilisant un réseau d'antenne ou une antenne à réflecteur profilé. La Fig. 4 donne un exemple de diagramme de rayonnement pour l'antenne à faisceau modelé [Ohmori et autres, 1980]. La mise en forme consiste à avoir un diagramme plat pour le faisceau principal et à supprimer le faisceau pour les autres directions. On pense que cette antenne aura un bon effet de réduction quand les ondes réfléchies arrivent de directions extérieures au faisceau principal. Cependant, l'antenne à faisceau modelé a un inconvénient, à savoir que le rendement d'ouverture de cette antenne est, en général, relativement faible.

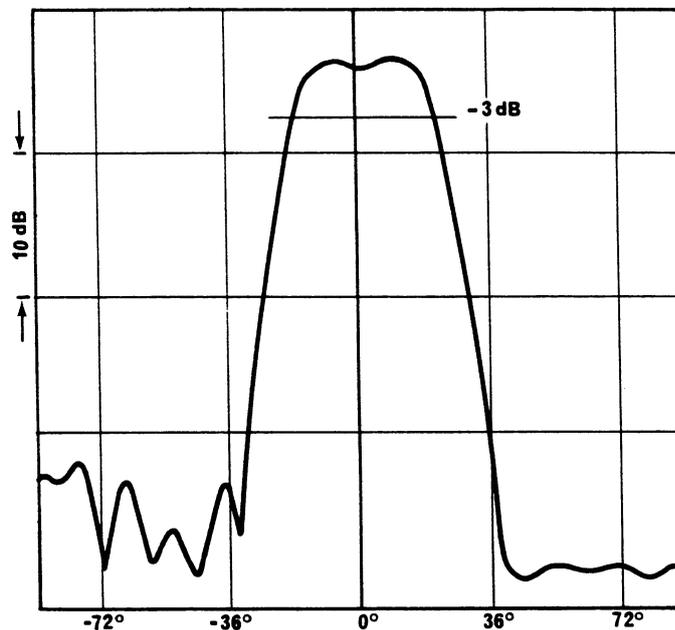


FIGURE 4 – Diagramme de rayonnement de l'antenne à faisceau modelé

Gain: 16 dBi (1,54 GHz)

2.4 Méthode de poursuite à niveau maximal

Si on règle les caractéristiques de rayonnement d'une antenne, dans la direction de l'onde réfléchi, de telle sorte que l'intensité du signal reçu soit toujours maintenue à un niveau élevé, l'évanouissement pourrait être très sensiblement réduit. Ce principe [Shiokawa et Karasawa, 1982] pourrait être facilement appliqué à un réseau d'antenne. La phase d'un réseau de déphasage réglable inséré dans le circuit d'alimentation pour chaque élément de l'antenne est légèrement modifiée par une variation de sa tension de commande afin de voir si le niveau de signal résultant augmente ou pas. Le réglage de la phase doit être suffisamment rapide pour pouvoir suivre la vitesse des évanouissements. Si le niveau du signal croît, on laisse la tension de commande varier continûment dans le même sens. Sinon, la polarité de la tension de commande doit être inversée pour agir sur le réseau de déphasage en sens opposé. On peut réduire l'évanouissement en répétant l'opération. La Fig. 5 montre un schéma de principe pour illustrer un exemple d'application de cette méthode à l'antenne quadrihélice.

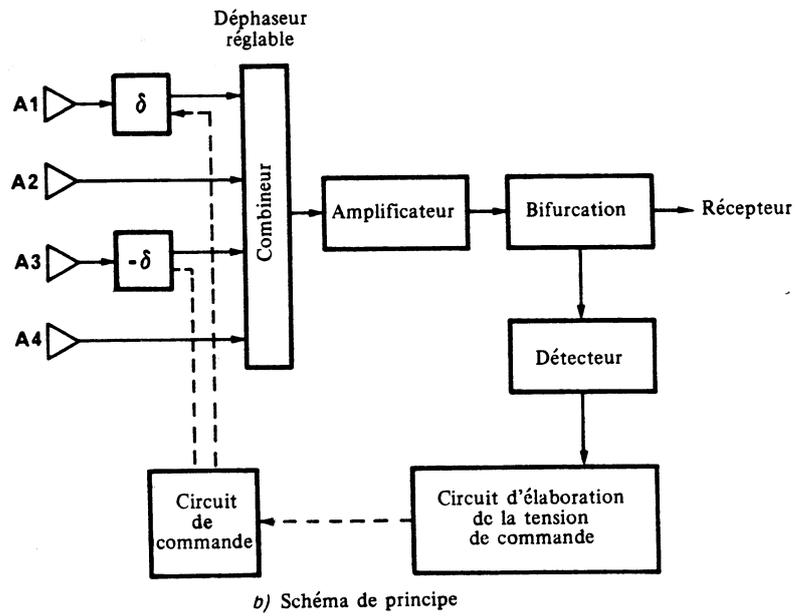
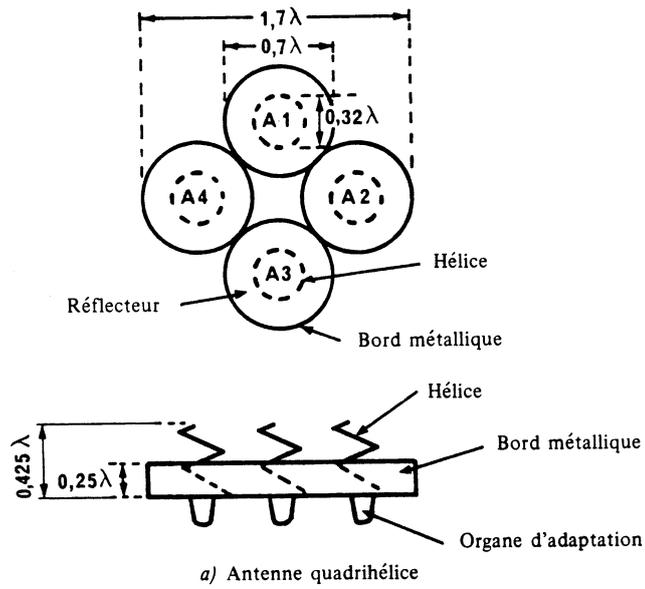


FIGURE 5 – Méthode de poursuite de niveau maximal avec l'antenne quadrihélice

2.5 Méthode de décalage du faisceau

Si l'on pouvait déplacer légèrement l'axe du faisceau de l'antenne d'un navire par rapport à la direction du satellite, on pourrait supprimer les évanouissements liés à la réflexion par la mer, grâce aux caractéristiques de l'antenne; en effet, la dégradation du gain d'antenne en direction de l'onde réfléchie est généralement plus grande que l'erreur de visée. Pour cela, on utilise un système de poursuite d'antenne à programme. On pourrait également réduire l'évanouissement grâce aux caractéristiques de polarisation de l'antenne de navire. La Fig. 6 représente l'ellipse de polarisation (mesurée) de l'antenne courte à rayonnement vers l'arrière [Yamada et autres, 1981]. Cette figure montre que, si les doublets croisés sont inclinés à 45° par rapport à l'horizontale, le grand axe de l'ellipse de polarisation dans le plan vertical est presque vertical, et la dégradation du taux d'ellipticité est d'autant plus grande que l'angle par rapport à l'axe du rayon est lui-même plus grand. D'autre part, le grand axe pour l'onde réfléchie par la mer est presque horizontal dans le cas d'un angle de site inférieur à 10° environ, comme on l'a vu dans le § 2.2. Par conséquent, la position relative des deux ellipses de polarisation est plus proche de la position orthogonale (voir le § 2.2) que dans le cas où le faisceau n'est pas décalé.

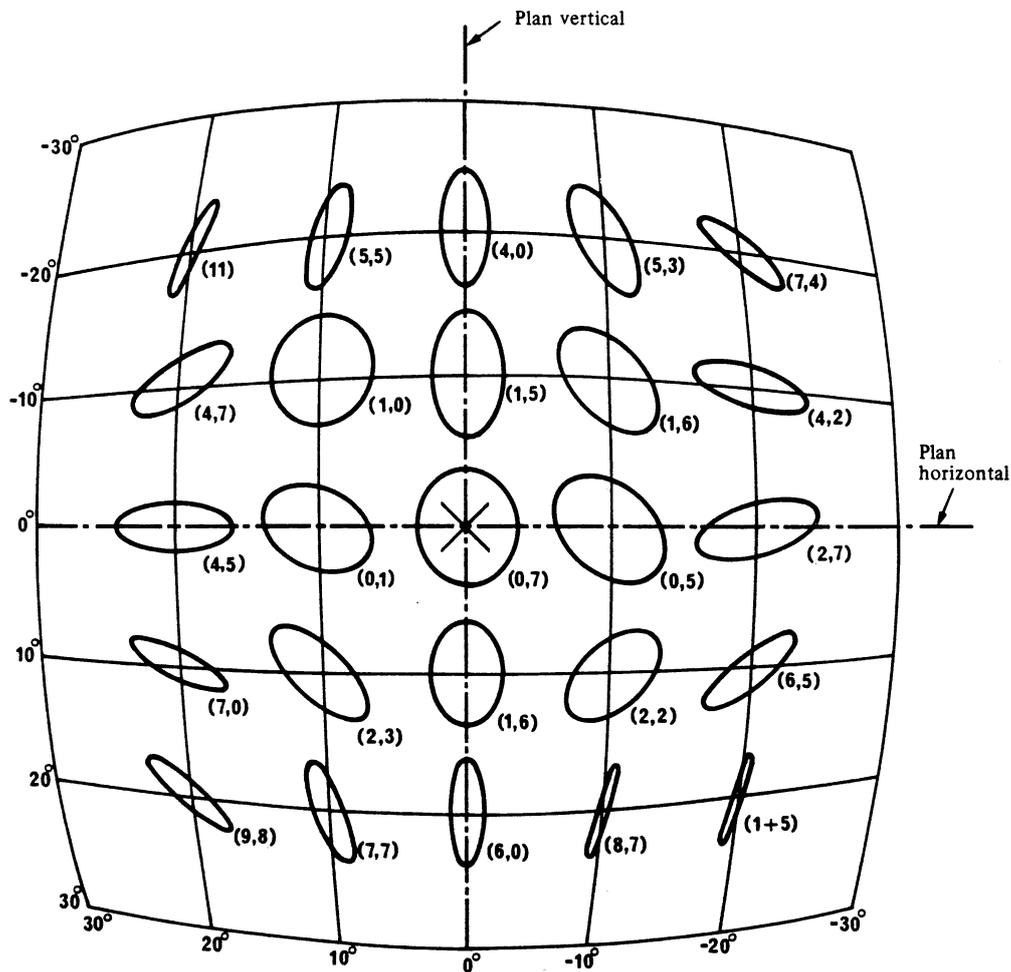


FIGURE 6 – Ellipse de polarisation de l'antenne courte à rayonnement vers l'arrière (gain d'antenne: 12 dBi)

3. Résultats expérimentaux sur les effets de réduction obtenus dans la pratique

3.1 Diversité d'espace

On a effectué une expérience de diversité d'espace [Kozono et Yoshikawa, 1981] avec application de l'algorithme «commutation et maintien» en installant deux antennes courtes à rayonnement vers l'arrière, d'un diamètre de 20 cm, sur un navire de petite taille, avec des hauteurs de vague de 1 m à 1,5 m environ. Ces antennes étaient espacées verticalement de 3 longueurs d'onde. La Fig. 7 illustre l'effet de diversité d'espace obtenu en simulant la commutation par ordinateur. Cette figure montre que les distributions cumulatives temporelles sont sensiblement égales dans les diverses branches et qu'elles correspondent presque à la distribution I_0 avec $C/I = 6,25$ dB. On voit également que la profondeur d'évanouissement d'environ 8 dB, pour un angle de site de 9° , peut être ramenée à environ 5 dB pour un niveau de seuil de -5 dB.

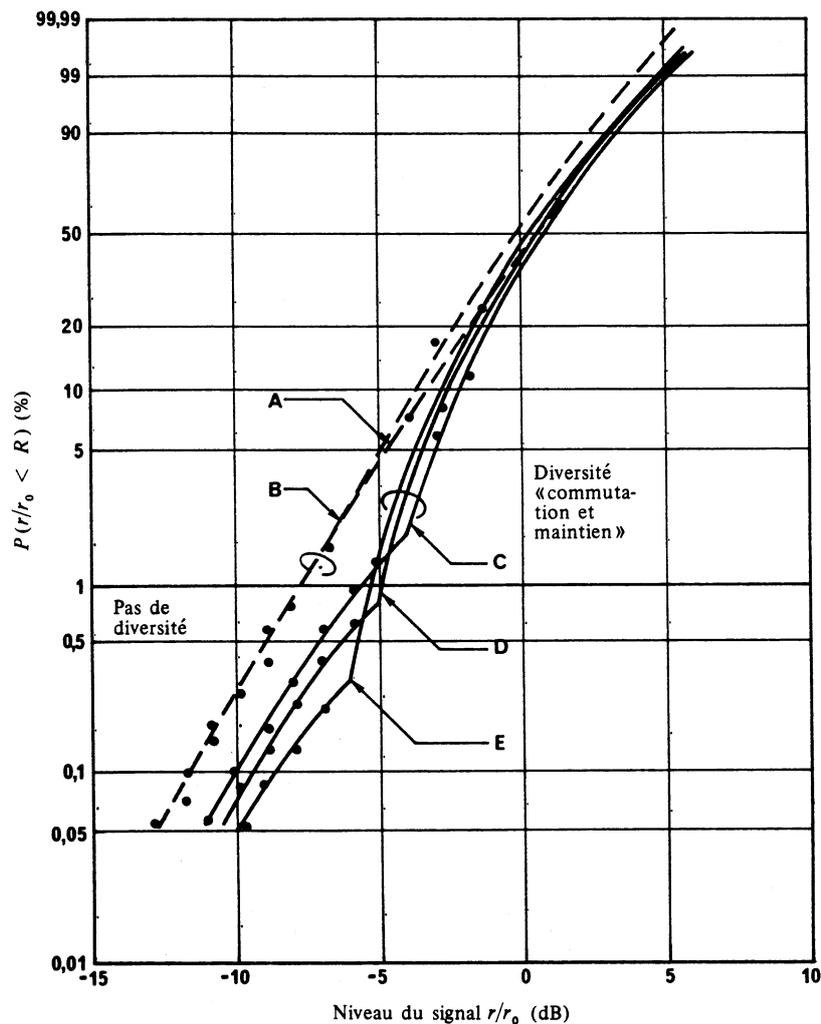


FIGURE 7 – Effet de réduction des évanouissements par la méthode de diversité d'espace

Fréquence: 1,5 GHz
 Antenne courte à rayonnement vers l'arrière
 Séparation des antennes: $\Delta h = 0,6$ m

Courbes A : branche 1
 B : branche 2
 C : $S = -4$ dB
 D : $S = -5$ dB
 E : $S = -6$ dB
 S : niveau de seuil

3.2 Méthode de polarisation

Pour la méthode de polarisation (A), on a effectué des expériences en service réel [Shiokawa et Karasawa, 1982], avec une antenne courte à rayonnement vers l'arrière (SBF: short backfire antenna) dont le diamètre d'ouverture était de 33 cm, et qui était située sur le pont d'un ferry pour capter les signaux du satellite Marisat. Cette antenne avait un gain d'environ 13,5 dBi, un taux d'ellipticité d'environ 0,7 dB sans réduction des évanouissements, et une ouverture de faisceau d'environ 38°. La Fig. 8 donne la distribution cumulative temporelle de l'effet de réduction des évanouissements pour une hauteur de vague d'environ 70 à 80 cm, correspondant à une mer « forte ». On voit que la profondeur d'évanouissement pour 99% du temps décroît de 5,1 à 2,5 dB, en utilisant cette technique de réduction des évanouissements. Il s'introduit cependant un affaiblissement de polarisation d'environ 1 dB.

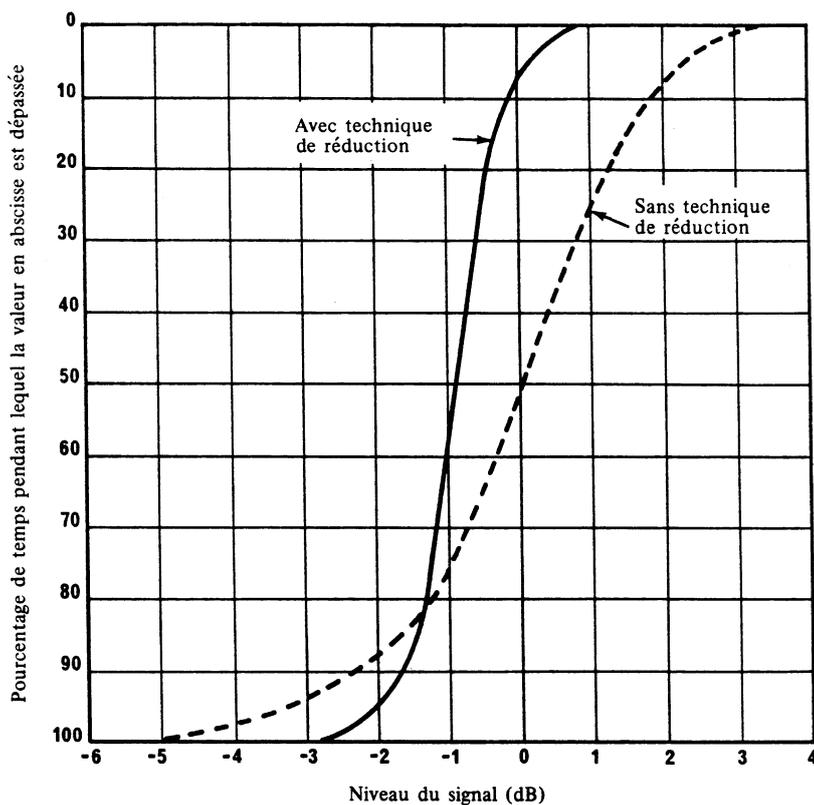
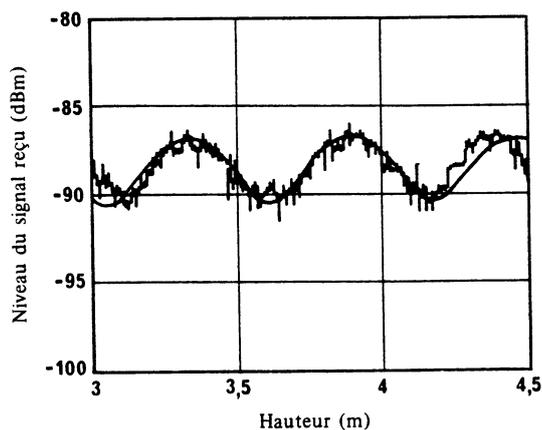


FIGURE 8 – Effet de réduction des évanouissements par la méthode de polarisation (A)

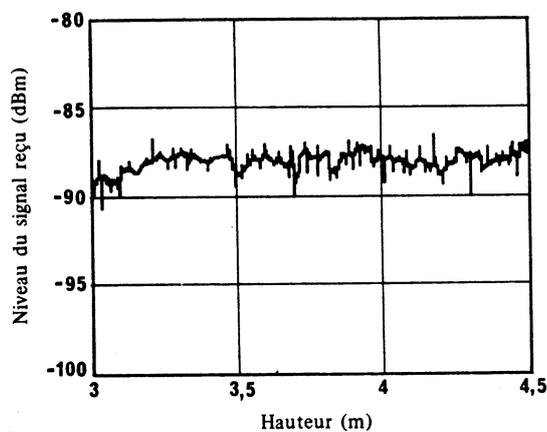
Angle de site : 11,2°
Hauteur des vagues : 70-80 cm

Pour la méthode de polarisation (B), on a effectué des expériences sur la côte [Ohmori et Miura, 1982], en utilisant des signaux pilotes d'INMARSAT, pour des angles de site d'environ 10°. On a utilisé dans ces expériences une antenne SBF dont les caractéristiques électriques étaient presque les mêmes que dans les expériences de la méthode de polarisation (A). Les Fig. 9a) et 9b) donnent les diagrammes de gain de hauteur dans deux cas: d'une part, avec l'antenne SBF ordinaire pour laquelle l'affaiblisseur additionnel était réglé pour un affaiblissement infini, d'autre part, avec l'antenne SBF et application de la technique de réduction des évanouissements. Les résultats montrent que l'évanouissement spatial (évanouissement associé au gain de hauteur) est éliminé de façon presque parfaite.



a) Sans technique de réduction

Antenne courte à rayonnement
vers l'arrière de 40 cm



b) Avec technique de réduction

Réduction sur l'antenne courte
à rayonnement vers l'arrière

FIGURE 9 – Effet de réduction des évanouissements
par la méthode de polarisation (B)

Des expériences en mer ont aussi été effectuées avec pratiquement le même équipement que celui qui est décrit ci-dessus, sur un navire de taille moyenne (1 700 tonnes) par l'intermédiaire du satellite ETS-V [1989]. Pour l'obtention des données, on a utilisé un déphasage supplémentaire d'une valeur constante correspondant à la valeur calculée dans l'hypothèse d'une réflexion spéculaire et qui est pratiquement indépendante des angles de site. La Figure 10 donne la distribution cumulative temporelle de la réduction des évanouissements pour des angles de site d'environ 6° . La profondeur d'évanouissement, rapportée à la valeur minimale de 50%, de l'ordre de 11 dB pour 99% du temps a été ramenée à environ 1,4 dB. Les expériences attestent de la validité de cette méthode pour de petits angles de site avec une amélioration maximale de l'ordre de 6° .

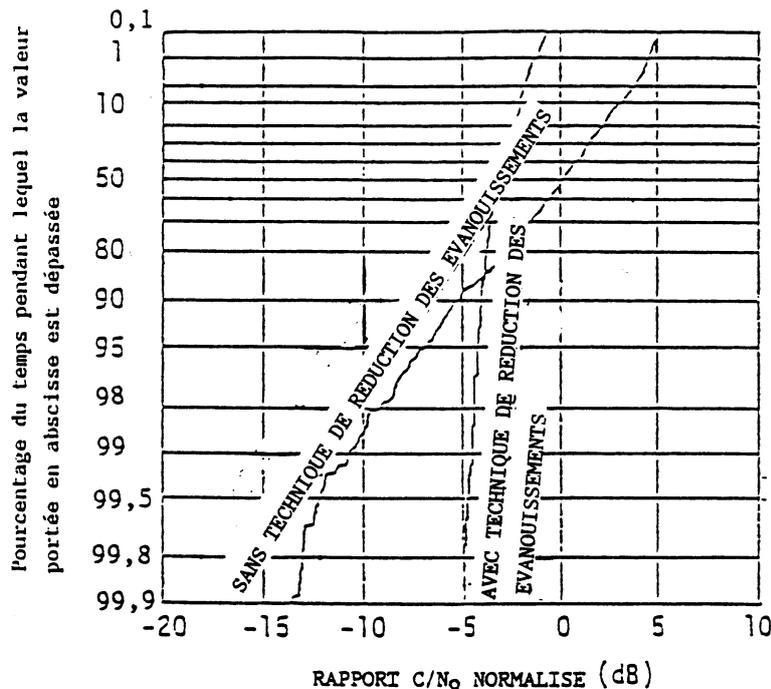


FIGURE 10

Distribution cumulative temporelle du niveau des signaux reçus

Antenne courte à rayonnement vers l'arrière (40 cm)
 Angle de site: $5,9^\circ$
 Hauteur de vague: de 100 à 110 cm

3.3 Méthode de poursuite à niveau maximal

On a effectué une expérience en service réel [Shiokawa et Karasawa, 1982] sur une plage, consistant à recevoir un signal en provenance d'une source de signaux située sur une colline qui était séparée par une baie. Dans cette expérience, on a utilisé une antenne quadrihélixe. Cette antenne était composée de quatre hélices à deux spires, comme le montre la Fig. 5a); elle avait un gain d'environ 13 dBi et un taux d'ellipticité d'environ 1,0 dB [Shiokawa et autres, 1981]. L'angle de site était de $7,5^\circ$ et la hauteur des vagues de 15 à 20 cm, ce qui correspond à une mer «modérée». L'antenne réceptrice était montée au point minimal du diagramme de hauteur pour évaluer le cas le plus défavorable, celui où le niveau du signal reçu est minimal. La Fig. 10 donne la distribution cumulative temporelle de l'intensité du signal reçu. La profondeur d'évanouissement d'environ 11 dB, correspondant à 99% du temps, a été ramenée à environ 7,5 dB.

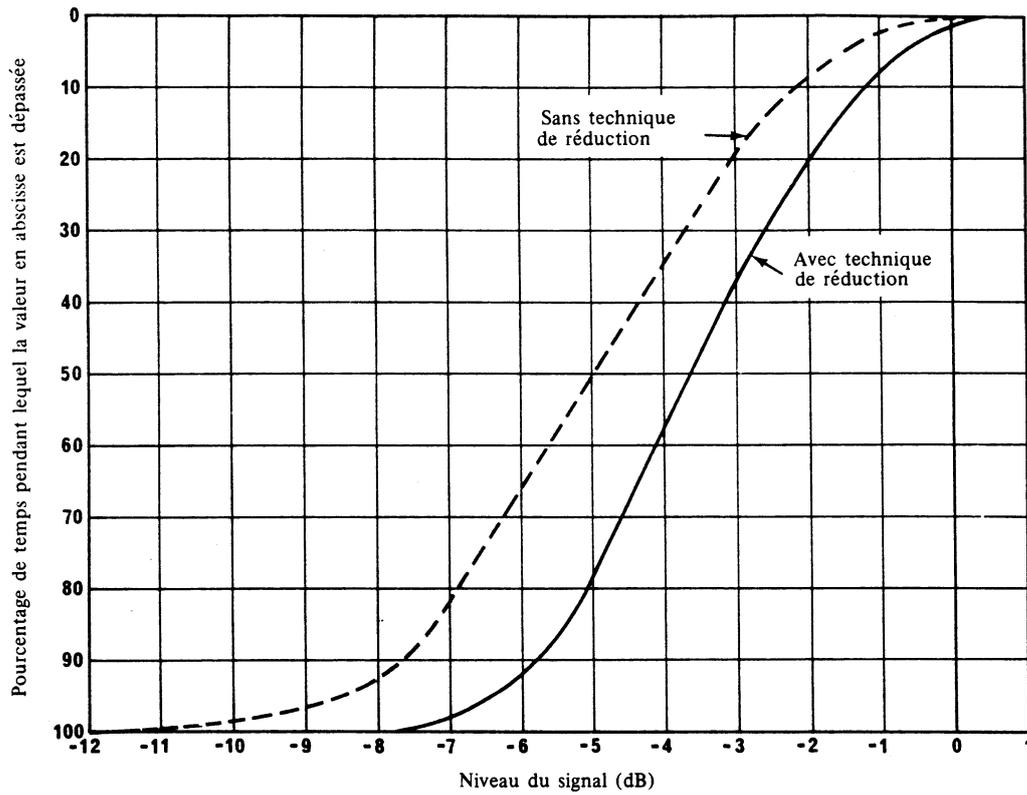
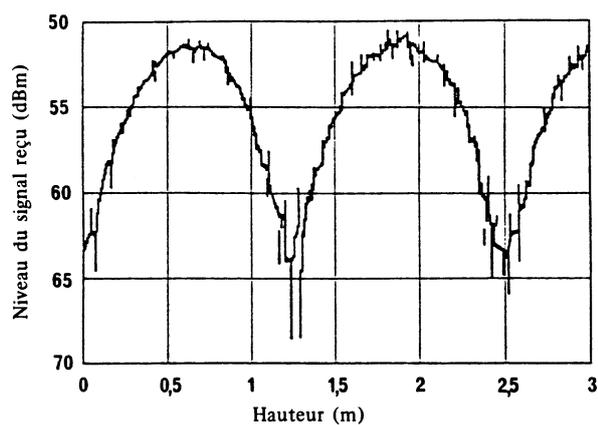


FIGURE 10 – Effet de réduction des évanouissements par la méthode de poursuite à un niveau maximum

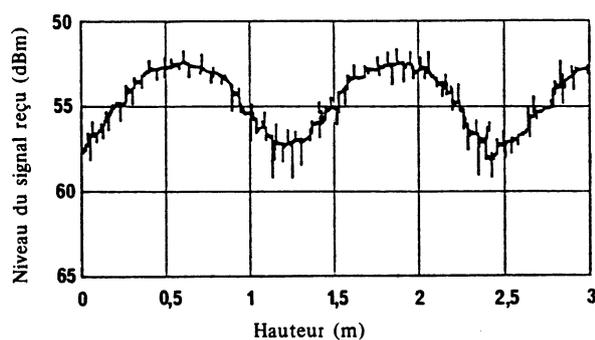
Angle de site : $7,5^\circ$
Hauteur des vagues : 15-20 cm

3.4 Méthode de modelage des faisceaux et méthode de décalage du faisceau

Des expériences en service réel ont été faites [Ohmori et autres, 1980] sur la côte, pour confirmer l'effet de réduction des évanouissements en utilisant les deux méthodes de réduction combinées: la méthode de modelage des faisceaux et la méthode de décalage du faisceau. Dans ces expériences, on a utilisé une antenne à faisceau modelé, déjà décrite dans le § 2.3. La Fig. 11 montre les résultats expérimentaux en fonction de la hauteur: la Fig. 11a) pour une antenne ordinaire avec un gain d'antenne d'environ 16 dBi et la Fig. 11b) pour une antenne à faisceau modelé avec un décalage du faisceau de 15° . Cette figure montre que les ondes réfléchies sont sensiblement affaiblies.



a) Sans technique de réduction



b) Avec technique de réduction

FIGURE 11 – *Effet de réduction des évanouissements par la méthode de modelage des faisceaux et par la méthode de décalage du faisceau*

4. Conclusion

On a passé en revue quelques techniques de réduction des évanouissements et on a donné les résultats expérimentaux obtenus en service réel. La conclusion qui se dégage de cette étude est que les techniques de réduction des évanouissements sont très efficaces quand il s'agit de remédier à l'importante dégradation des signaux due à la réflexion sur la surface de la mer, surtout pour les antennes de stations terriennes de navire à faible rapport G/T .

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- IKEGAMI, T., MARUYAMA, S., KAWASAKI, K. et OHMORI, S. [1989] Experimental study of fading reduction method for maritime satellite communications. IEEE Antennas and Propagation Symposium (AP-S), San José, Californie, Etats-Unis d'Amérique.
- KOZONO, S. et YOSHIKAWA, M. [1981] Switch and stay diversity effect on maritime mobile satellite communication. *Trans. Inst. Electron. Comm. Engrs. Japan*, Vol. J64-B, 5.
- OHMORI, S. et MIURA, S. [1983] A fading reduction method for maritime satellite communications. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-31, 1, 184-187.
- OHMORI, S. et autres [1980] Circularly polarized shaped beam antenna. National Conference, Institute of Electronics and Communication Engineers, Tokyo, Japon, SI-4.
- SHIOKAWA, T., KARASAWA, Y. et YOKOI, H. [1981] A ship-borne helical array antenna for maritime satellite communication. IEE Conf. Publ. No. 195. IEE Second International Conference on Antennas and Propagation, Heslington, York, Royaume-Uni.
- SHIOKAWA, T. et KARASAWA, Y. [1982] Ship-borne antenna suppressing multipath fading in maritime satellite communication. IEEE Antennas and Propagation Society (AP-S), Nouveau Mexique, Etats-Unis d'Amérique.
- YAMADA, Y. et autres [1981] Study on the ship-mounted antenna used for satellite communication. Tech. Rep., AP 80-126. Institute of Electronics and Communications Engineers, Tokyo, Japon.
-