

RAPPORT 763-3*

**VARIATIONS DE NIVEAU DU SIGNAL DUES AUX TRAJETS MULTIPLES
ET AU BLOCAGE PAR LES SUPERSTRUCTURES DE NAVIRES, DANS
LES LIAISONS DU SERVICE MOBILE MARITIME PAR SATELLITE**

(Question 88/8)

(1978-1982-1986-1990)

1. Introduction

L'influence des perturbations dues à la propagation par trajets multiples après réflexion des ondes à la surface de la mer est un facteur important à considérer quand on établit des systèmes du service mobile maritime par satellite.

Les caractéristiques des évanouissements dépendent:

- de la fréquence;
- de l'angle de site;
- des conditions à la surface de la mer, notamment de la hauteur et de l'inclinaison des vagues (rôle important du vent);
- du diagramme de rayonnement de l'antenne du navire;
- du rapport axial des antennes du satellite et du navire;
- de l'orientation angulaire des ellipses de polarisation des antennes du satellite et du navire;
- de l'erreur de pointage de l'antenne du navire;
- de la configuration de la superstructure du navire;
- de la hauteur de l'antenne au-dessus de la mer.

Une estimation théorique, reposant sur le modèle présenté dans le Rapport 884, est donnée dans le présent Rapport pour prévoir les valeurs d'évanouissement en fonction de l'angle de site de satellites, de l'état de la mer et du gain d'antenne.

Un résumé des estimations théoriques et des résultats mesurés, portant sur la profondeur des évanouissements par trajets multiples et signalés jusqu'ici, est présenté sous forme de tableau.

On a procédé à une simulation par ordinateur pour déterminer les évanouissements résultant de la réflexion sur la superstructure d'un navire. Le présent Rapport donne également les résultats de cette simulation, ainsi que les affaiblissements dus au blocage causé par une structure en colonne.

Dans le cas d'une station terrienne de navire ayant un facteur de qualité G/T faible, et utilisant un stabilisateur d'antenne passif, on doit tenir compte de l'erreur de pointage d'une antenne à bord d'un navire due aux mouvements aléatoires du navire. Des résultats expérimentaux et des analyses statistiques se rapportant à ce sujet figurent dans le Rapport 921.

* Le Directeur du CCIR est prié de porter ce Rapport à l'attention de la Commission d'études 5.

2. Caractéristiques des évanouissements par trajets multiples

2.1 Généralités

La recherche du modèle théorique répond au besoin de disposer de données sur les évanouissements liés aux trajets multiples pour diverses valeurs des paramètres. Le calcul théorique repose sur un modèle présenté dans le Rapport 884.

On n'a pas tenu compte de la discrimination due à la polarisation des antennes, bien que, à des angles de site faibles, cette discrimination puisse avoir un effet important sur les caractéristiques du signal reçu en raison de l'inversion du sens de polarisation aux angles de site supérieurs à l'angle de Brewster (environ 6° à 1,5/1,6 GHz sur les trajets maritimes, voir le Rapport 1008). On n'a pas tenu compte non plus des fluctuations dues à l'atmosphère; l'effet de ces fluctuations est décrit lorsque les effets liés à la mer sont négligeables, c'est-à-dire aux angles de site élevés.

En général, les évanouissements par trajets multiples liés à la réflexion à la surface de la mer sont dus à l'interférence entre l'onde directe et l'onde réfléchie. Les ondes réfléchies par la surface de la mer sont formées d'une composante cohérente (composante de réflexion spéculaire) qui varie en fonction de la hauteur de l'antenne, et d'une composante incohérente (composante diffuse) qui varie avec le mouvement des vagues. La composante cohérente est prédominante par mer calme, la composante incohérente par mer forte.

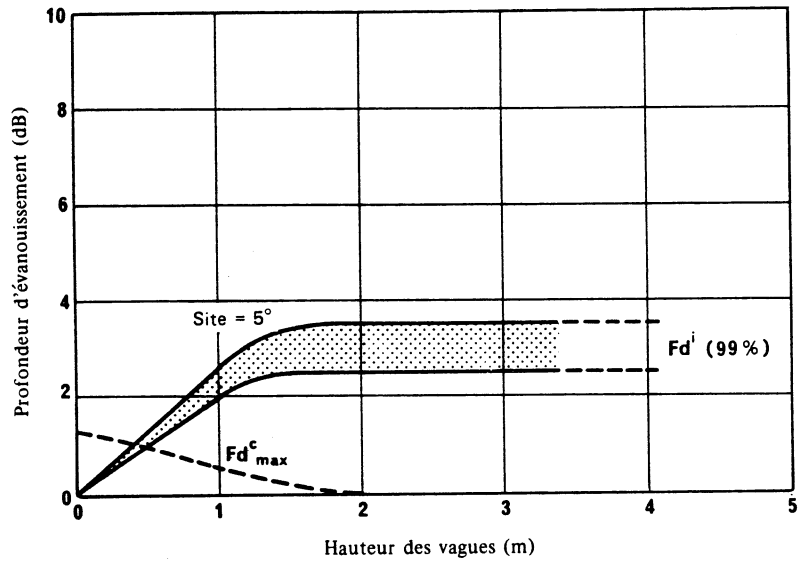
2.2 Profondeur d'évanouissement

Dans la pratique, la profondeur d'évanouissement pour $p\%$ du temps est donnée en première approximation par la somme de l'évanouissement cohérent Fd_{max}^c et de l'évanouissement incohérent Fd^i (voir aussi le Rapport 884):

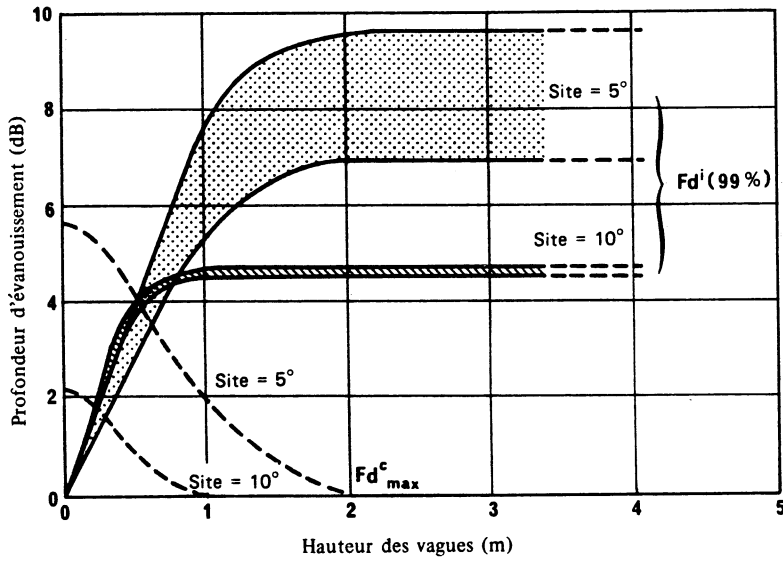
$$Fd(p\%) = Fd_{max}^c + Fd^i(p\%)$$

Les profondeurs d'évanouissement pour 99% du temps, calculées pour 1,5 GHz, sont données dans la Fig. 1 pour des gains d'antenne de 24 et 14 dB, en fonction de la hauteur des vagues. La zone ombrée couvre la gamme utile des pentes des vagues, entre 0,04 et 0,07. On peut conclure de ces résultats que la profondeur d'évanouissement liée à la composante cohérente diminue régulièrement avec l'augmentation de la hauteur des vagues, tandis que la profondeur d'évanouissement liée à la composante incohérente augmente progressivement en même temps que la hauteur des vagues, jusqu'à un maximum.

La Fig. 2 montre la profondeur d'évanouissement pour des gains d'antenne de 24 dB, 20 dB, 15 dB et 8 dB, en fonction de l'angle de site avec un plein développement de la composante incohérente, due à une hauteur des vagues d'environ 1,6 m à 3,2 m.



a) Gain d'antenne : 24 dB



b) Gain d'antenne : 14 dB

FIGURE 1 - Profondeur d'évanouissement en fonction de la hauteur des vagues

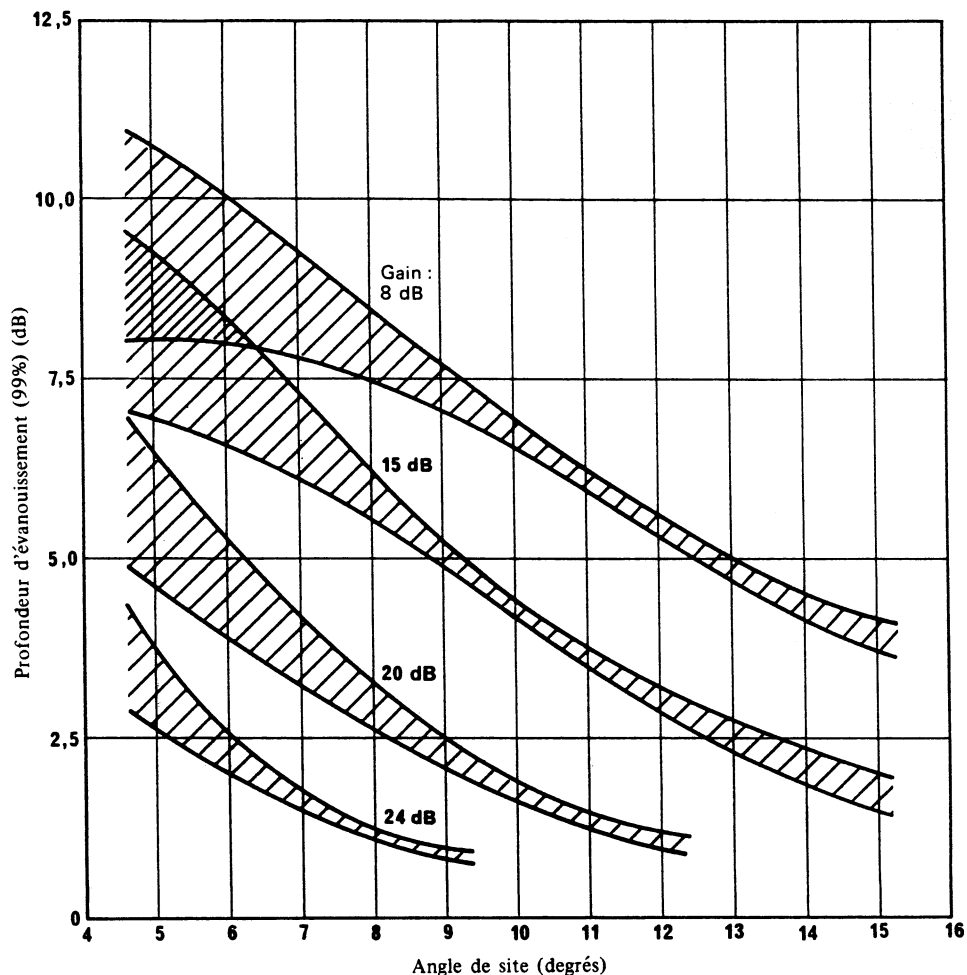


FIGURE 2 – Profondeur d'évanouissement pour 99% du temps en fonction de l'angle de site et pour une hauteur des vagues variant de 1,6 m à 3,2 m

2.3 Statistiques relatives au spectre et à la durée des évanouissements

La largeur de bande spectrale des variations temporelles de l'amplitude augmente avec la hauteur des vagues et avec l'angle de site. Selon les calculs effectués en tenant compte de la variation de hauteur de l'antenne due aux mouvements du navire (roulis/tangage), la fréquence correspondant à la densité spectrale de puissance de -10 dB relative à la partie plate du spectre (dénommée ci-après: largeur de bande spectrale à -10 dB) s'étend de 0,3 à 5 Hz quand la hauteur significative des vagues est comprise entre 0,5 et 5 m, l'angle de site étant compris entre 5° et 10° et la vitesse du navire inférieure à 30 nœuds.

La Figure 3 montre la gamme probable de largeur de bande spectrale de -10 dB de l'évanouissement par trajets multiples à 1,5/1,6 GHz, obtenue au moyen du modèle d'évanouissement théorique (voir le Rapport 884), en fonction de l'angle de site, dans des conditions normales de communications maritimes par satellite, notamment, avec une hauteur de vague de 1 à 5 m, une vitesse de navire de 0 à 20 noeuds et un tangage/roulis de 0 - 30°.

Les séquences d'erreur dans les systèmes de transmission numérique occasionnées par l'évanouissement par trajets multiples sont généralement du type à salves. Ainsi, il faut bien connaître les statistiques de durée de l'évanouissement par salves afin d'appliquer l'entrelacement des données ainsi que la correction d'erreur vers l'avant pour obtenir une amélioration considérable des caractéristiques de taux d'erreur de la voie. Les valeurs moyennes de la durée d'évanouissement $\langle T_D \rangle$, et l'intervalle d'apparition de l'évanouissement $\langle T_I \rangle$, définis dans la Figure 4 peuvent être estimées à partir du spectre d'évanouissement. Une simple méthode de prévision des valeurs moyennes à partir de la bande spectrale de -10 dB est décrite dans le Rapport 884.

Les valeurs prévues de $\langle T_D \rangle$ et $\langle T_I \rangle$ pour 99% du temps et pour des angles de site compris entre 5 et 10° sont de 0,05 à 0,4 seconde pour T_D et de 5 à 40 secondes pour $\langle T_I \rangle$. La fonction de densité de probabilité de $\langle T_D \rangle$ et $\langle T_I \rangle$ à n'importe quel pourcentage compris entre 50 et 99% approche d'une distribution exponentielle.

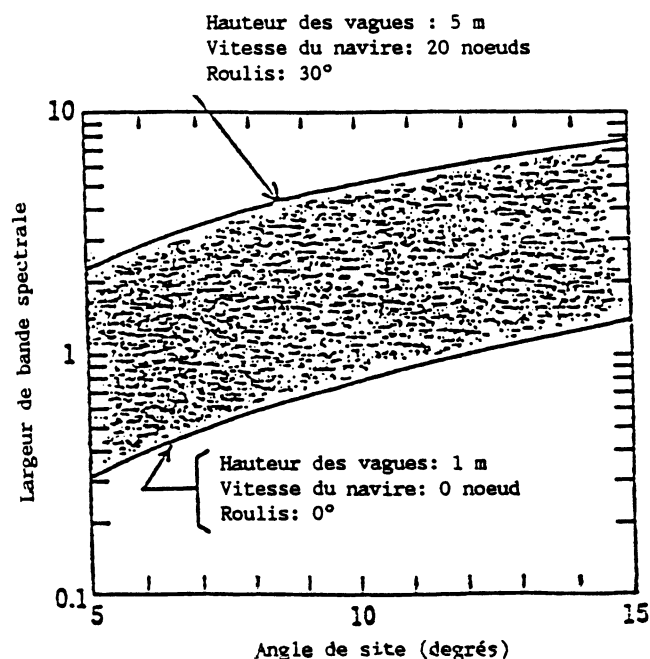
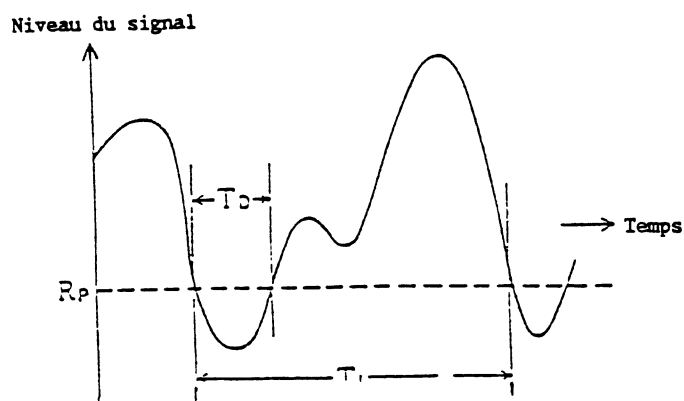


FIGURE 3

Largueur de bande spectrale de -10 dB d'un évanouissement par trajets multiples 1.5 GHz dû à la réflexion sur la mer, en fonction de l'angle de site



R_p = niveau du signal pour un % donné du temps

FIGURE 4

Durée des évanouissements et intervalle
d'apparition des évanouissements

3. Récapitulation des statistiques d'évanouissement par trajets multiples

Le Tableau I récapitule les calculs théoriques et les résultats de mesure des profondeurs d'évanouissement par trajets multiples figurant dans le présent Rapport. Le tableau indique également un certain nombre de résultats de mesure effectués en utilisant une station terrienne de navire ayant un facteur de qualité G/T faible (voir l'Annexe II au Rapport 921).

Les valeurs figurant au Tableau I font apparaître que le modèle théorique est bien confirmé par les résultats expérimentaux.

TABLEAU 1 - Statistiques théoriques et mesurées d'évanouissement
par trajets multiples pour 99% du temps

Gain d'antenne (dB)	Angle de site (degrés)	Force du vent (nœuds)	Hauteur des vagues (m)	Profondeur d'évanouissement (dB)		Repérage des sources
				Théorique	Mesurée	
0	6		0,5	5,0 Note 1	6,9	(8)
0	6		0,5	12,2 Note 2	12,8	(8)
3	4 8 19	35 27 20			12 13 10,5	(1)
5	4 8 19	35 27 20			14 14 8	(1)
11	4 8 19	35 27 20			11 10 6,5	(1)
14 14 15 13	5 5 5 4		1,5-3,2 1,5-3 1-4 4,5	7-9	6-10 7-10 7,2	(2) (3) (4) (5) (6)
14 15 13	10 10 10		1,5-3 0,5-3 3,5	4,5-5	4-5 6,2	(2) (3) (5) (6)
20 20 24 24	5 5 5 5		1,6-3,2 3 1,6-3,2 1,6-3,2	5-7 2,5-4	4,8 1,5-3	(3) (7) (2) (3) (4)
20 20 24	10 10 10		1,6-3,2 3 1,6-3,2	1,5-2 1	2,8	(3) (7) (2) (3)

(1) [Hagenauer et autres, 1984], Rapport 921, Annexe II.

(2) Rapport 884, Fig. 4.

(3) Rapport 763, Fig. 2.

(4) [Ohmori et autres, 1985].

(5) [Karasawa et autres, 1986].

(6) Rapport 762, Fig. 11.

(7) Rapport 763-2 [1986], Tableau V.

(8) [Higuchi et Shinohara, 1988].

Note 1. - Fixe au point médian du diagramme de la hauteur d'antenne.

Note 2. - Fixe au point minimal du diagramme de la hauteur d'antenne.

Le Tableau II récapitule les données statistiques de la durée des évanouissements.

TABLEAU II

Statistiques de la durée des évanouissements

a) Paramètres de mesure

Données N°	Gain d'antenne (dBi)	Angle de site (degrés)	Force du vent (noeuds)	Hauteur des vagues (m)	Vitesse du navire (noeuds)	Roulis/tangage (degrés)	Repérage des sources
1	15,5	5		0,5	11	1	(1)
2	15,5	10		3,0	11	5	(1)

(1) [Karasawa et Shiokawa, 1987]

b) Données mesurées

Données N°	Niveau seuil		T _D (secondes)		T _I (secondes)	
	Pourcentage de temps (%)	Profondeur d'évanouissement (dB)	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
1	50	0	1,29	1,53	2,56	2,16
	90	4,0	0,55	0,54	5,61	5,41
	99	9,3	0,30	0,24	29,0	28,5
2	50	0	0,26	0,32	0,52	0,47
	90	2,0	0,13	0,13	1,29	1,61
	99	4,0	0,078	0,072	7,29	10,8

4. Estimations de l'influence de la superstructure du navire

4.1 Réflexions sur la superstructure du navire

L'onde réfléchi sur la superstructure du navire, dont la majeure partie est cohérente avec l'onde reçue directement, cause des évanouissements au signal composite reçu.

La profondeur des évanouissements dépend des paramètres suivants:

- configuration de la superstructure du navire;
- position de l'antenne du navire;
- directivité de l'antenne du navire et niveau de ses lobes latéraux;
- taux d'ellipticité et orientation de l'ellipse de polarisation des antennes du satellite et du navire;
- angle de site et azimut de l'antenne du navire.

Pour la prévision par ordinateur des réflexions sur la superstructure, on a choisi comme navire un pétrolier ayant un port en lourd de 230 000 tonnes environ (voir la Fig.5). On pensait qu'un navire de ce type donnerait lieu à de fortes réflexions parce que le pont supérieur offre un grand espace libre devant l'antenne. On a assimilé la surface réfléchissante de ce pont à un ensemble de surfaces élémentaires planes de conductivité infinie. On a supposé que le taux d'ellipticité dans l'axe de l'antenne du navire était de 1 dB et celui de l'antenne du satellite de 2 dB.

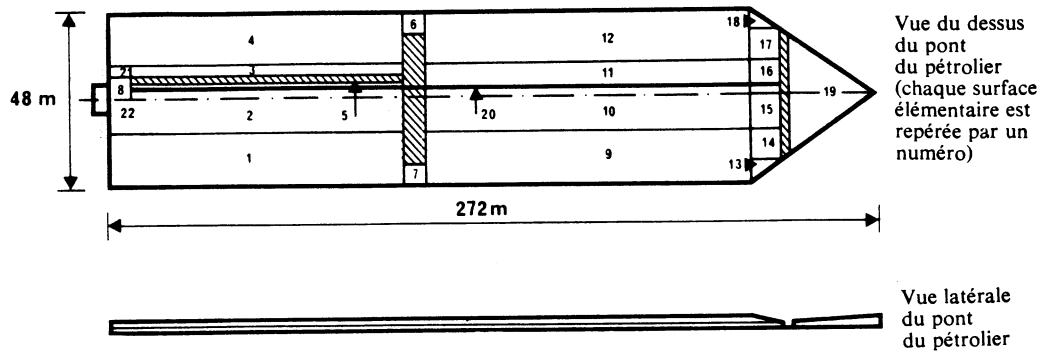


FIGURE 5 - Diagramme de pétrolier utilisé pour simuler les réflexions sur la superstructure du navire

La Fig. 6 représente la variation, prévue sur ordinateur, du niveau du signal en fonction de l'angle de site, pour deux valeurs, 20 dB et 24 dB, de la directivité supposée de l'antenne. Un autre paramètre est l'affaiblissement dû à une erreur de pointage de l'antenne, pour lequel on a choisi la valeur 1 dB. Dans le cas de l'antenne à directivité de 20 dB, l'erreur correspondante de pointage en site était de $-5,4^\circ$; dans l'autre cas (24 dB), elle était de $-3,4^\circ$.

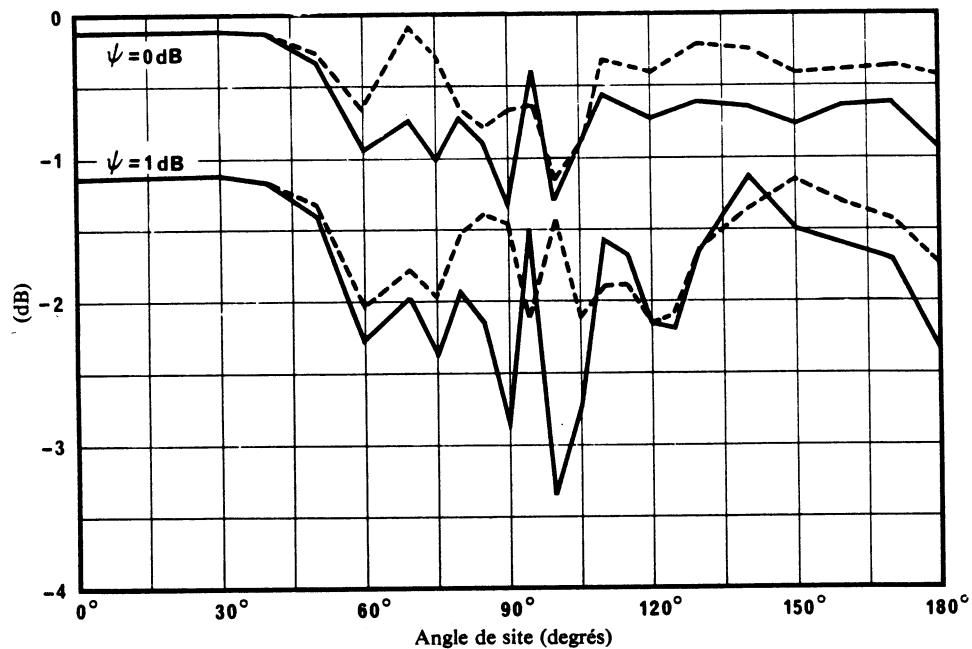


FIGURE 6 - Prévion, par ordinateur, de la profondeur d'évanouissement en fonction de l'angle de site, pour un pétrolier ayant un port en lourd de 230 000 tonnes (ψ = affaiblissement de pointage)

Directivité:
 ——— 20 dB
 - - - - 24 dB

Les variations du niveau du signal que l'on constate quand l'angle de site passe de 9° à 11° sont dues à des interférences entre les réflexions sur les diverses parties du pont.

Dans l'exemple particulier considéré, on a observé que l'affaiblissement prévu dû à une propagation par trajets multiples provenant d'une superstructure de navire:

- s'annulait quand le cap du navire s'écartait de plus de 14° de la direction du satellite;
- variait de moins de 1 dB quand on modifiait la hauteur de l'antenne au-dessus du pont.

4.2 Blocage par la superstructure du navire

Le blocage est dû à la superstructure du navire, par exemple, le mât et les différentes sortes d'antennes. Une représentation géométrique est donnée dans la Fig. 7. L'affaiblissement dû au blocage dépend de plusieurs paramètres, tels que le diamètre de la structure en colonne, la distance entre l'antenne et la colonne et les dimensions de l'antenne. Les données expérimentales existantes permettent de déterminer l'affaiblissement lié au blocage dû à une structure en colonne.

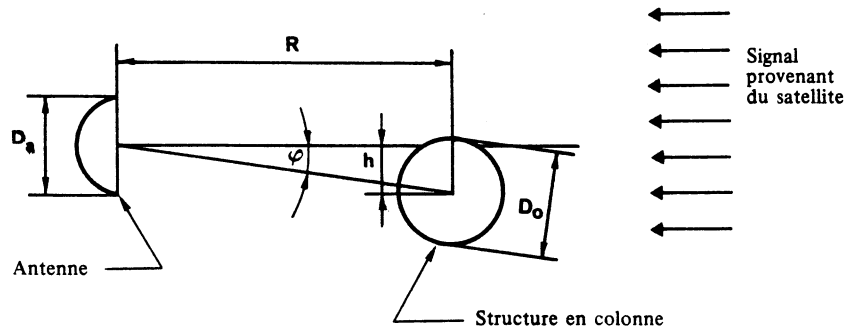


FIGURE 7 - Représentation géométrique du blocage

Les valeurs estimées de l'affaiblissement lié au blocage dû à une structure en colonne sont données dans la Fig. 8 pour les antennes d'un gain de 20 dB et de 14 dB.

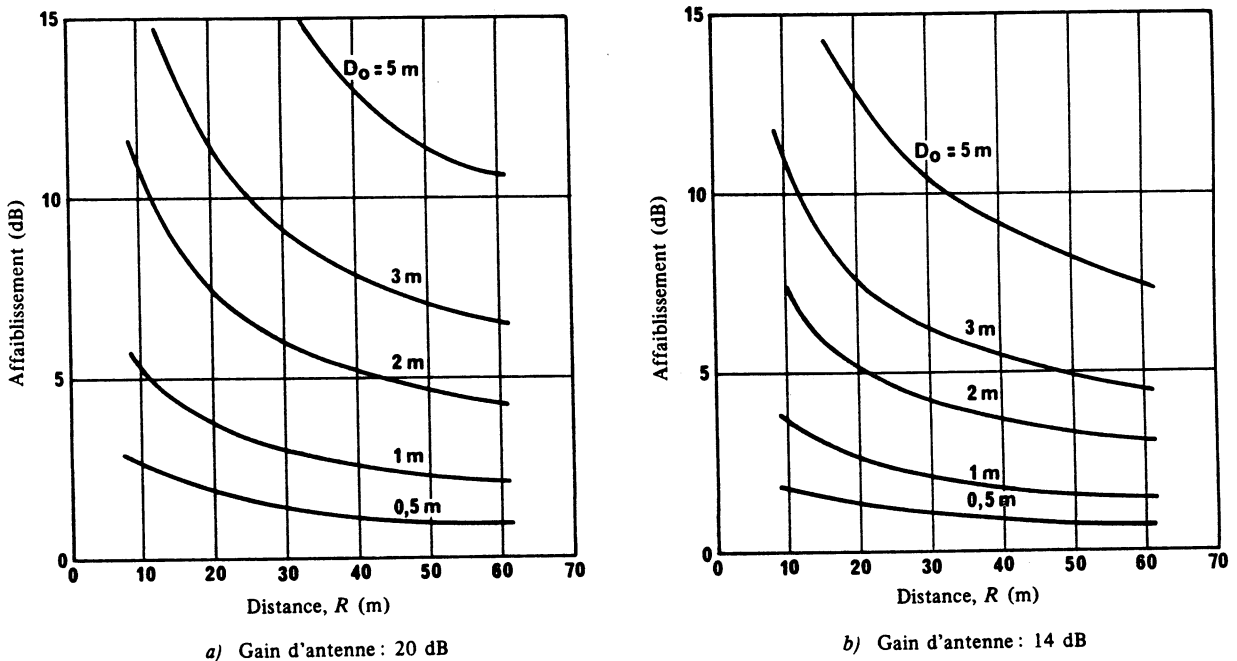


FIGURE 8 - Valeurs estimées de l'affaiblissement lié au blocage

La Figure 9 illustre les effets de blocage dus à une structure en colonne avec une antenne à faible gain située au voisinage.

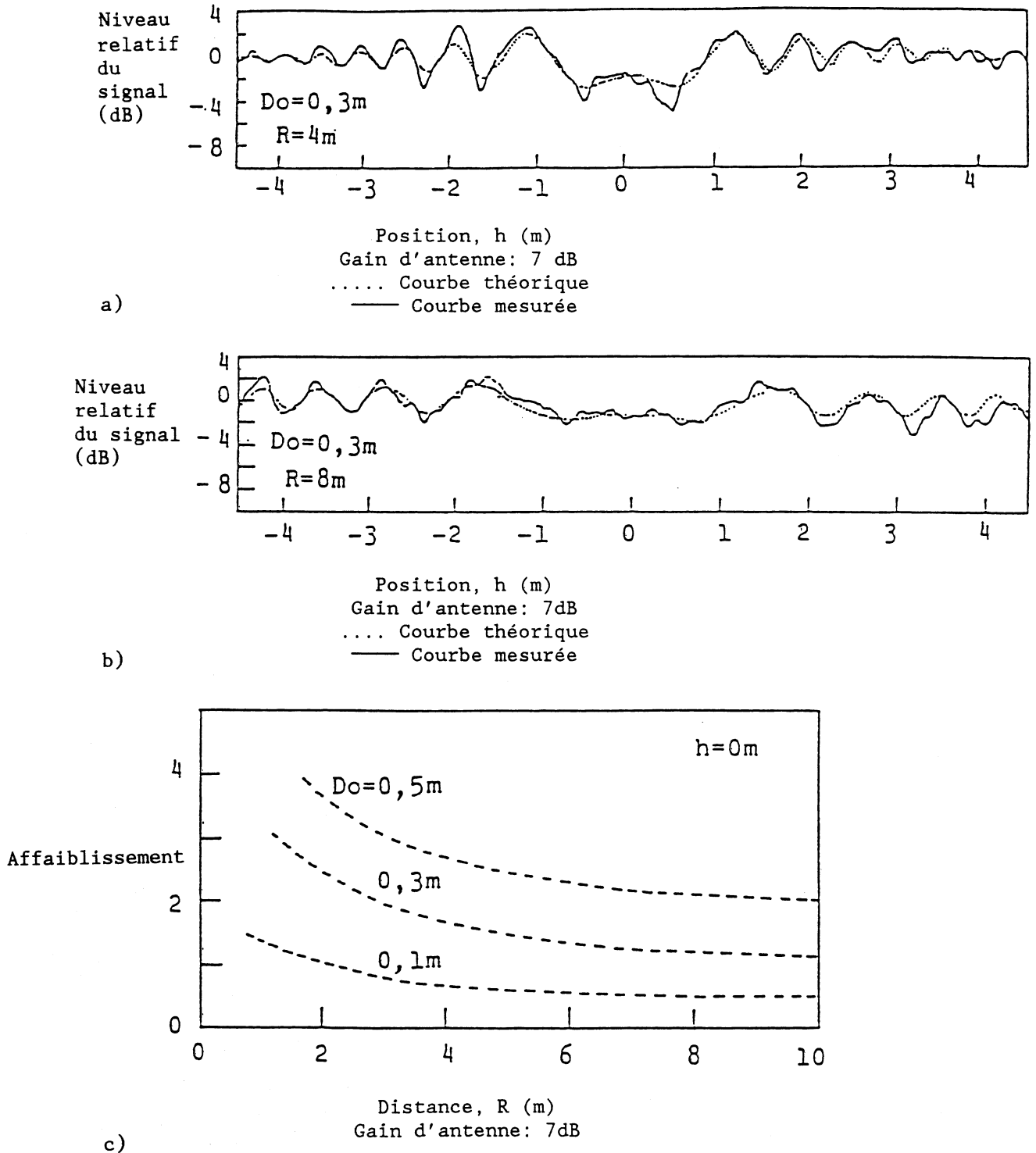


FIGURE 9

Effets de blocage dus à une structure en colonne avec une antenne à faible gain située au voisinage

5. Conclusions

Les résultats obtenus au moyen du modèle théorique donné au § 2 permettent de prévoir les évanouissements dus à la propagation par trajets multiples pour une grande série de valeurs des paramètres. On a montré que les évanouissements liés à la composante cohérente diminuent régulièrement quand la hauteur des vagues croît, alors que les évanouissements liés à la composante incohérente augmentent progressivement en même temps que la hauteur des vagues et atteignent une valeur maximale pour des vagues d'environ 1,6 m de hauteur. La profondeur d'évanouissement augmente généralement lorsque l'angle de site et le gain d'antenne diminuent.

Pour de petits angles de site, la composante cohérente (spéculaire) de la réflexion peut prédominer, alors que la composante incohérente (diffuse) prédomine pour de plus grands angles de site.

Les résultats expérimentaux indiqués plus haut montrent que l'effet de la propagation par trajets multiples croît quand l'angle de site et le gain d'antenne du satellite diminuent. La profondeur d'évanouissement maximale comprenant à la fois les composantes cohérente et incohérente, apparaît pour une hauteur de vagues d'environ 1,6 m; la profondeur d'évanouissement varie peu avec la hauteur des vagues lorsque celle-ci est comprise entre 0,8 et 3,2 m.

Des mesures expérimentales de profondeur d'évanouissement par trajets multiples donnent généralement des valeurs qui diffèrent de 1 dB au maximum de celles obtenues par des calculs théoriques. Donc, on peut en conclure que le modèle théorique est bien confirmé par les résultats des mesures.

Les réflexions sur la superstructure d'un grand pétrolier ont été étudiées. Les résultats indiquent que l'on peut s'attendre à des évanouissements d'une profondeur de l'ordre de 1 dB dans le cas d'antennes ayant un effet directif compris entre 20 et 24 dB, pour de petites erreurs de pointage, et dans le cas d'une antenne colinéaire avec l'axe du navire. On a également étudié le blocage par la superstructure du navire. L'affaiblissement lié au blocage par une structure en colonne est présenté en fonction de la distance, du diamètre de la colonne et des dimensions de l'antenne.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- HAGENAUER, J., DOLAINSKY, ETBAUER, GRÄBEL, LOTZ, PAPKE, W., PLÖCHINGER et SCHWEIKERT, R. [novembre 1984] Multipath fading effects and data transmission for small ship earth stations (Standard C). DFVLR Final Report, 223 pages (en allemand). DFVLR, D-8031 Oberpfaffenhofen, Allemagne (République fédérale d'). Préparé au titre du contrat ESA/ESTEC N° 5323/82/NL/JS.
- HIGUCHI, T. et SHINOHARA, T. [1988] Experiment of INMARSAT Standard-C system, Fourth Int. Conf. Sat. Sys. for Mobile Comm. and Nav., IEE Conf. pub. no.294
- KARASAWA, Y., YASUNAGA, M., NOMOTO, S. et SHIOKAWA, T. [1986] On-board experiments on L-band multipath fading and its reduction by use of the polarization shaping method, Trans. IEICE of Japan, vol. E69, no. 2, pp. 124-131
- KARASAWA, Y. et SHIOKAWA, T. [1987] Fade duration statistics of L-band multipath fading due to sea surface reflection, IEEE, Trans. Ant. Prop., vol. AP-35, no. 8, pp. 956-961
- OHMORI, S. IRIMATA, A., MORIKAWA, H., KONDO, K., HASE, Y. et MIURA, S. [août 1985] Characteristics of sea reflection fading in maritime satellite communications. IEEE Trans. Ant. Prop., Vol. AP-33, 8, 838-845.

BIBLIOGRAPHIE

- BEARD, C. I., KATZ, I. et SPETNER, L. M. [avril 1956] Phenomenological vector model of microwave reflection from the ocean. IRE Trans. Ant. Prop. Vol. AP-4, 2, 162-167.
- BECKMANN, P. et SPIZZICHINO, A. [1963] *The Scattering of Electromagnetic Waves from Rough Surfaces*. Pergamon Press.
- HOGBEN, N. et LUMB, F. E. *Ocean Wave Statistics, etc.* Her Majesty's Stationery Office, Royaume-Uni.
- KARASAWA, Y. et SHIOKAWA, T. [1984a] Characteristics of L-band multipath fading due to sea surface reflection, IEEE Trans. Ant. Prop., Vol. AP-32, 6, 618-623.
- KARASAWA, Y. et SHIOKAWA, T. [1984b] Spectrum of L-band multipath fading due to sea surface reflection, Trans. Inst. Electron. Comm. Engrs. Japan, Vol. J67-B, 2, 171-178.
- SHIOKAWA, T. et KARASAWA, Y. [1982] Shipborne antennas suppressing multipath fading in maritime satellite communication. IEEE Trans. Ant. Prop., Vol. AP-S, New Mexico, Etats-Unis d'Amérique.
- TSUJIMURA, K. et autres [1979] Experiment of blocking effect in maritime satellite communication. JRC Tech. Rep., 13.
- YOSHIKAWA, M. et autres [1979] Experimental results of propagation over sea at high elevation angles. Paper on Tech. Group, AP 79-89, Institute of Electronics and Communication Engineers of Japan, Tokyo.

