

Statistic of Simulated Ocean Clutter

Franck DAOUT, Françoise SCHMITT

Ecole Navale – Bâtiment des laboratoires, Groupe de Traitement du Signal
Lanvéoc-Poulmic BP 600, 29 240 Brest-Naval, France

Tel : (33) [0] 298 234 019 – Fax : (33) [0] 298 233 857

daout@ecole-navale.fr, schmitt@ecole-navale.fr

<http://www.ecole-navale.fr/www.gts>

Résumé – La pression diffusée par une surface rugueuse est calculée par l'intermédiaire d'un programme de simulation pour une large gamme d'angles d'incidence et d'observation. La théorie utilisée repose sur le modèle de Kirchhoff et intègre l'ensemble des caractéristiques d'une chaîne de mesure ainsi que les interactions complexes de l'onde avec la surface (phénomène d'ombre et de diffusion multiple). Les données obtenues permettent de déterminer la densité de probabilité (pdf) de l'intensité diffusée pour différentes géométries. Celle-ci est ensuite comparée avec les lois habituelles (Weibull, Lognormal et distribution K) dont les vecteurs de paramètres sont calculés avec des estimateurs du maximum de vraisemblance. La distance de Kolmogorov-Smirnov est calculée afin de déterminer la loi qui semble la plus pertinente. Il est apparu que la distribution exponentielle est une bonne modélisation pour des incidences faibles. Toutefois lorsque l'incidence devient rasante et au voisinage du spéculaire, la pdf de l'intensité reçue s'écarte notablement de cette description. Dans ce cas une description de Weibull avec un paramètre de forme égale à 4 semble plus appropriée. Une étude de l'intensité diffusée dans la direction spéculaire pour une large gamme d'incidences, montre que la distribution exponentielle fournit de bons résultats tant que les phénomènes d'ombre et de diffusion multiple n'apparaissent pas. Dès lors, la distribution est alors correctement modélisée par une loi de Weibull dont le paramètre de forme dépend de l'angle d'observation.

Abstract – The bistatic scattering from a rough surface is simulated by a computer program for a wide angle range. The effect of shadowing and multiple scattering are taken into account. To describe the scattered field the Kirchhoff's theory is used. The probability density function (pdf) of the scattered intensity is compared with the Weibull, Lognormal and K distributions. The phase pressure is also studied. The values of the distribution parameters estimated using maximum likelihood estimator are obtained as a function of the bistatic angle. The Kolmogorov-Smirnov distance is used to determine which of the distribution fits the data better. It is observed that the exponential distribution is a good approximation for small incident angle. Nevertheless, it is shown that for grazing incidence and near the forward direction, the Weibull's pdf with a shape factor equal to 4 is more appropriate. The study of the intensity scattered in the forward direction shows that its pdf deviates of the exponential's distribution when shadowing and multiple scattering occur. It seems that for this special case, it is necessary to find a new clutter distribution like Weibull's pdf.

1. Introduction

La modélisation du bruit de réverbération est un paramètre essentiel utilisé dans les algorithmes de détection ou (et) de classification. Dans cet article, le comportement statistique de la pression diffusée par la surface de la mer est présenté. Cette étude doit servir à améliorer les algorithmes de détection (cible fixe ou se déplaçant lentement, ...), les procédures d'inversion (segmentation d'image sonar, ...) ou encore les algorithmes de traitement en communication sous-marine. Cette démarche s'inscrit dans le thème général de l'identification du canal de propagation.

Dans cet article, nous montrons que les caractéristiques du bruit de réverbération sont à considérer en fonction de la géométrie d'étude (sonar monostatique ou multistatique), de la nature de la chaîne de mesure (diagramme de directivité

des capteurs, nature de l'impulsion émise, ...) et de la nature de la surface (rugosité, coefficient de réflexion).

Dans la première partie de cet article, une brève discussion du modèle utilisé et des modèles statistiques est proposée. Le comportement statistique du clutter de mer est ensuite étudié.

2. Modèle de diffusion bistatique

2.1 Système de coordonnées

La géométrie d'étude est présentée sur la figure 1. Il est habituel de choisir un système de coordonnées cartésiennes dont le centre coïncide avec le centre de la surface insonifiée. L'axe x correspond au plan moyen du profil dont la hauteur

est décrite par la variable aléatoire $z(x)$. Les angles θ et θ_s et les distances L_e et L_r situent l'émetteur et le récepteur.

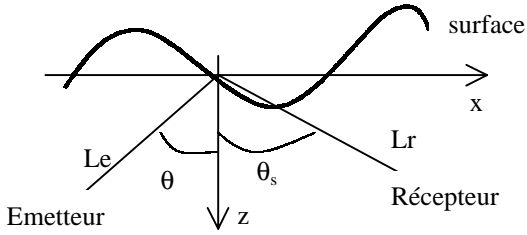


FIG. 1 : système de coordonnées

La surface est décrite comme la réalisation d'un processus stochastique. Elle est modélisée par sa distribution des hauteurs et sa fonction d'autocorrélation. Dans cette étude, pour des raisons de simplicité, le profil de mer est considéré comme étant une surface gaussienne (distribution des hauteurs et fonction d'autocorrélation gaussiennes). Les échantillons du profil sont prélevés à la sortie d'un filtre générateur AR dont les coefficients sont calculés par l'algorithme de Levison [1]. L'écart type des pentes de la surface, calculé en fonction de la vitesse du vent, caractérise plusieurs types de rugosité [2].

2.2 Modèle de diffusion [3]

Les efforts pour modéliser la diffusion des ondes acoustiques par les fonds marins à des faibles rasances se sont développés récemment. D'un point de vue théorique, la modélisation d'un tel phénomène est basée sur des méthodes analytiques appliquées à une surface décrite par son spectre. Ces méthodes ignorent généralement les phénomènes d'ombre et de diffusion multiple [4]. Seul le comportement des deux premiers moments de la variable aléatoire (v.a) 'pression diffusée' sont calculés. De plus la fonction de distribution de cette variable reste difficilement modélisable. L'approche que nous proposons et que nous avons développée sous la forme d'un code de calcul appelé NEWS (Numerical Estimation of Waves Scattering) [3], caractérise la distribution de la v.a 'pression diffusée' par l'intermédiaire d'une méthode de Monte-Carlo. Dans cette approche, les phénomènes d'ombre, de diffusion multiple, de rugosité, de la variabilité du coefficient de réflexion ainsi que les caractéristiques des antennes d'émission et de réception sont intégrées ; ceci permet ainsi d'appréhender leurs influences sur le comportement statistique de la pression diffusée.

Pour calculer la signature acoustique d'un profil, celui-ci est découpé en segments élémentaires (facettes). Le champ incident par facette est supposé constant en amplitude mais pas en phase. La contribution de chaque facette est calculée par une intégration analytique. Le champ sonore observé sur le récepteur correspond alors à la somme cohérente des champs diffusés par facette. Cette sommation prend en compte l'attitude de la facette vis-à-vis de l'émetteur et du récepteur. Seuls les points qui sont "vus" par l'émetteur et le récepteur contribuent à la pression reçue par le récepteur. L'utilisation du code exclut les phénomènes de diffraction

imputables aux arêtes, mais intègre les phénomènes de diffusion multiple et d'ombre.

2.3 Modèles statistiques

En présence d'une surface naturelle, le champ reçu doit être considéré comme une variable aléatoire résultant d'une sommation de l'ensemble des diffuseurs contenus dans la zone insonifiée [5]. Dans ce contexte, les phénomènes d'ombre et de diffusion multiple viennent modifier la répartition des points brillants, entraînant ainsi une évolution de la distribution de la pression diffusée en fonction des angles d'incidence et d'observation. Dans ce contexte, le coefficient de diffusion est calculé :

$$m_s(\theta, \theta_s) = \frac{1}{A} \frac{\langle pp^* \rangle}{I^i} \quad (1)$$

Avec A la taille de la zone insonifiée, I^i l'intensité de l'onde incidente mesurée au niveau de la surface et p la pression captée par le récepteur, l'opérateur $\langle . \rangle$ désigne la moyenne d'ensemble. La densité de probabilité du coefficient de diffusion est ensuite calculée et comparée avec les lois de Weibull (P_1), Lognormal (P_2) et K (P_3) :

$$P_1(b, c) = \frac{c}{b} m_s^{c-1} \exp\left(-\frac{m_s^c}{b}\right)$$

$$P_2(s, M) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{m_s s} \exp\left(-\frac{1}{2s^2} \left[\ln \frac{m_s}{M}\right]^2\right) \quad (2)$$

$$P_3(b, c) = \frac{b}{\Gamma(c) \sqrt{m_s}} \left(\frac{b\sqrt{m_s}}{2}\right)^c K_{c-1}(b\sqrt{m_s})$$

Le vecteur de paramètres de chaque loi est calculé en utilisant des estimateurs du maximum de vraisemblance [2]. Notons que le vecteur de paramètres de la loi K est déterminé quant à lui à partir du calcul de ces premiers moments. La distance de Kolmogorov-Smirnov permet de mesurer l'adéquation entre ces différentes lois et la distribution expérimentale.

Afin de caractériser les fluctuations de l'intensité diffusée, le comportement de l'index de scintillation en fonction de l'angle d'observation est utilisé [6] :

$$\sigma^2 = \frac{\langle |p|^4 \rangle}{\langle |p|^2 \rangle^2} - 1 \quad (3)$$

Ce paramètre traduit le caractère aléatoire de la pression diffusée. Egal à 0 pour une onde déterministe, il augmente avec le caractère aléatoire de l'onde.

3. Description statistique du clutter de mer

L'ensemble des simulations présentées dans cet article est obtenu pour une surface dont l'écart type des pentes est égal à 0.1 correspondant à un état de mer 2 c'est-à-dire faiblement perturbée. L'émetteur et le récepteur sont situés à une

distance de 5 m du centre du profil. La longueur d'onde est de 3 mm ($F=500$ kHz). L'émetteur et le récepteur sont des antennes piézo-électriques d'ouverture 10° . A une distance de 5 m et pour une incidence normale, la zone insonifiée a une longueur de 90 cm (290λ). Le coefficient de réflexion a été idéalisé à 1 quel que soit l'angle d'incidence. Ces différentes études statistiques ont été effectuées à partir de 100 réalisations de profil.

3.1 Incidences faibles

Dans le cas d'une incidence proche de la normale ($\theta=10^\circ$), la distribution de l'intensité diffusée correspond à une loi de Weibull et ce quelle que soit la direction d'observation. La distance de Kolmogorov-Smirnov dans le cas de cette distribution reste inférieure à 0.15 avec une moyenne de 0.08 quelle que soit la valeur de θ_s .

Le comportement de l'index de scintillation montre que la pression diffusée présente un comportement désordonné, indépendamment de l'angle θ_s (Fig 2).

Le comportement du paramètre de forme (c) en fonction de l'angle d'observation (Fig 3) montre que la loi de Weibull se rapproche pour cette incidence faible, d'une distribution exponentielle et cela indépendamment de la valeur de l'angle d'observation.

Le choix d'une incidence faible permet de diminuer fortement l'influence des phénomènes d'ombre et de diffusion multiple. Dans ce cas seule la répartition statistique des diffuseurs élémentaires sur la surface conditionne la distribution de l'intensité reçue. Une étude sur la phase de la pression reçue nous a montré que sa distribution est toujours uniforme sur l'intervalle $[0..360^\circ]$ confirmant ainsi le comportement de l'index de scintillation.

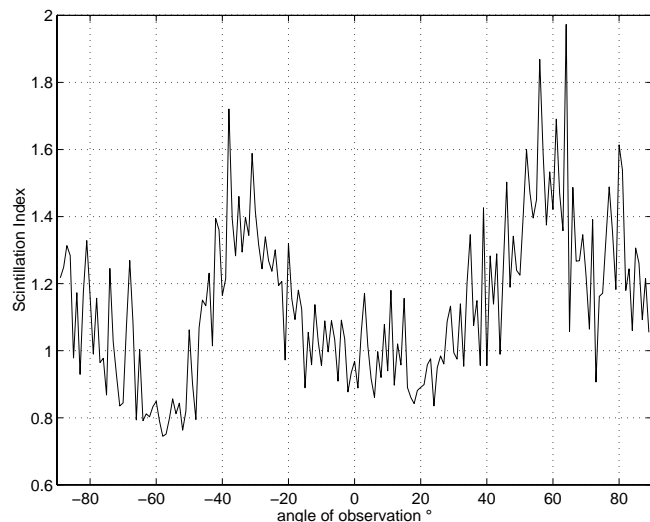


Fig 2 : Comportement de l'index de scintillation en fonction de l'angle d'observation pour une incidence de 10°

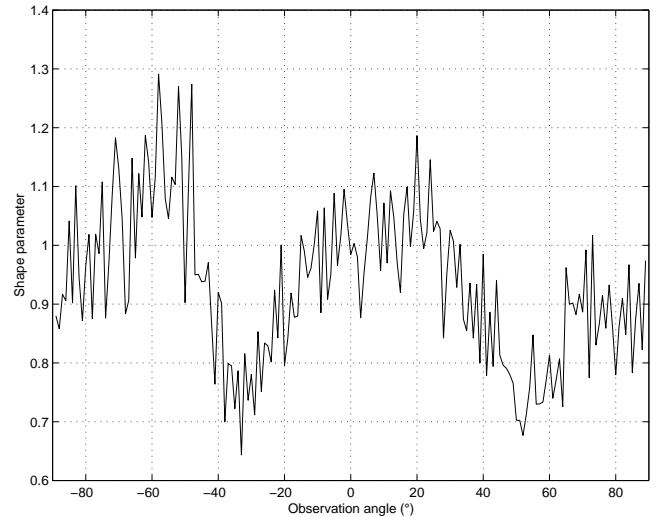


Fig 3 – paramètre de forme de la loi de Weibull pour une incidence de 10°

3.2 Incidences rasantes

Dans le cas d'une incidence importante ($\theta=80^\circ$), le comportement de l'index de scintillation (Fig 4) montre un comportement désordonné sauf dans la direction spéculaire. Une étude sur la phase de la pression diffusée dans cette direction montre un comportement proche d'une valeur déterministe (la valeur moyenne observée est de -80° avec un écart type de quelques degrés) confirmant ainsi cette observation. Pour l'ensemble des angles d'observation, la distribution de l'intensité diffusée peut être correctement modélisée par une loi de Weibull dont la valeur du paramètre de forme dépend de la direction d'observation. Ainsi en dehors de la direction spéculaire, la pdf expérimentale est correctement modélisée par une loi de Weibull dont le paramètre de forme est proche de 1. Dans la spéculaire, ce paramètre est proche de 4 (Fig 5).

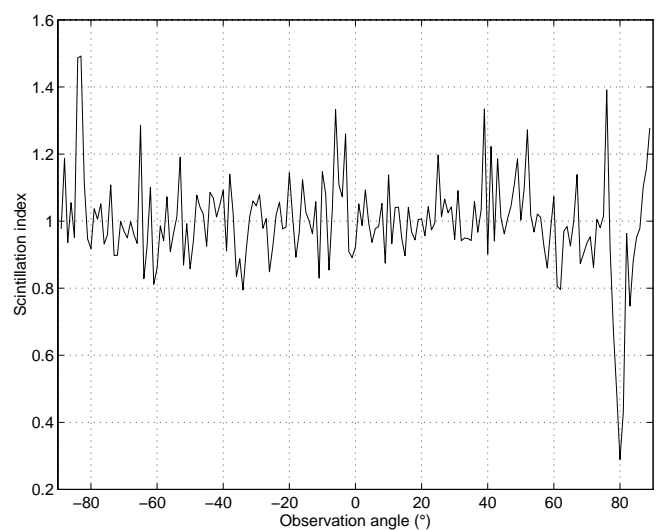


Fig 4 – Index de scintillation pour une incidence de 80°

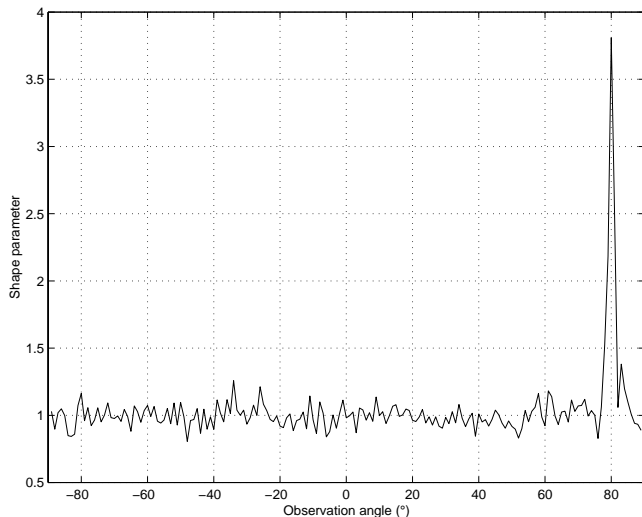


Fig 5 : paramètre de forme de la loi de Weibull pour $\theta=80^\circ$

Dans le cas d'une incidence importante, les diffusions d'ordre supérieur et les phénomènes d'ombre viennent modifier la distribution des diffuseurs élémentaires sur la surface ; ceci entraîne une modification de la distribution de la pression reçue.

3.3 Propagation avant (direction spéculaire)

Le comportement de l'intensité diffusée dans la direction de la propagation avant est fortement influencé par les phénomènes d'ombre et de diffusion multiple. Toutefois, on constate une bonne adéquation entre la distribution expérimentale et la loi de Weibull et ce quel que soit l'angle d'incidence. Seuls les paramètres de cette distribution changent en fonction de l'angle d'incidence (Fig 6). Ainsi un paramètre de forme égal à 1 (loi de Rayleigh en pression) semble être adaptée pour modéliser le bruit de réverbération en propagation avant, tant que les phénomènes d'ombre et de diffusion multiple ne sont pas prédominants. Dès que l'angle d'observation devient important (rasant), le paramètre de forme varie en fonction de θ_s .

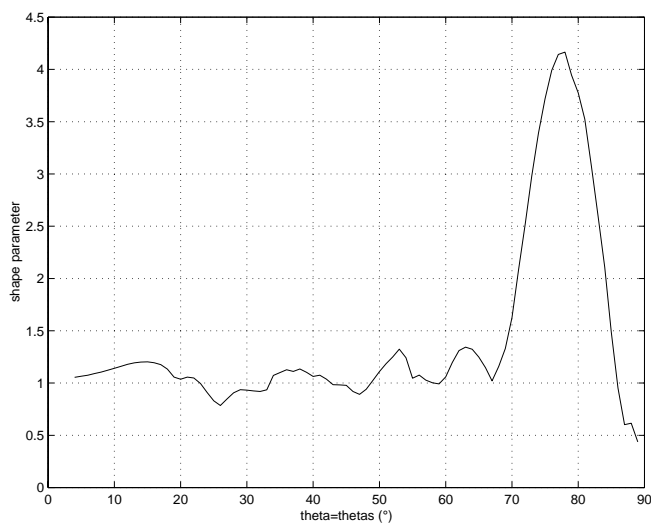


Fig 6 : Paramètre de forme de la loi de Weibull – $\theta=\theta_s$

4. Conclusion

La méthode présentée dans cet article est une démarche qui permet d'étudier le comportement de la pression diffusée (et de son intensité) par une surface rugueuse. Il est montré que la géométrie de mesure modifie la pdf de l'intensité diffusée notamment en propagation avant. Le comportement statistique de l'intensité diffusée est à relier aux phénomènes d'ombre et de diffusion multiple qui modifient la répartition des diffuseurs élémentaires sur la surface. Ainsi, une forte incidence (phénomène d'ombre) vient réduire la probabilité des pentes éclairées et change ainsi fortement les caractéristiques statistiques de la pression diffusée.

Références

- [1] L. Jung. *System Identification : theory for the user*. Englewood cliff, prentice hall edition, 1991.
- [2] F. Daout. *Etude de la dépolarisation des ondes centimétrique par une surface rugueuse – application au domaine maritime*, Thèse de doctorat, université de Nantes, novembre 1996.
- [3] F. Daout, F.Schmitt, *Modèle de diffusion Numérique (version 1)*, technical report, Ecole Navale, GTS, 1998.
- [4] J. Ogilvy, *Theory of wave scattering from random rough surface*, Adam Hilger, 1991.
- [5] J.S. Daba, M.R.Bell, *Statistic of the scattering cross-section of a small number of random scatter*, IEEE transaction on antenna and propagation, vol 43, N 8, 1995, pp 773-783.
- [6] C.C. Yang, G.C. Fennemore and S.T. McDaniel, *Scintillation index of the acoustic field forward scattered by rough surface for two and three-dimensional scattering geometries*, J. Acoust. Soc. Am. 91, April 92