

# L'observabilité des états de mer pour l'océanographie : Analyse statistique de champs électromagnétiques de diffusion estimés à partir de simulations numériques

R. Khairi, A. Coatanhay, A. Khenchaf

Laboratoire E3I2-EA3876, ENSIETA, UEB, 2 rue François Verny 29806 Brest Cedex 9, France (refzul.khairi@ensieta.fr, arnaud.coatanhay@ensieta.fr, ali.khenchaf@ensieta.fr)

**Résumé**—L'objectif de ce travail est de quantifier l'observabilité des états de la surface de mer en analysant statistiquement ses coefficients de diffusion bi-statique. Le modèle mathématique de la surface maritime est obtenu en utilisant le spectre d'Elfouhaily. La méthode des moments (MoM) est appliquée pour calculer les coefficients de diffusion. A partir d'un processus de Monté Carlo, la valeur-T et l'Analyse Discriminante Linéaire fournissent les outils de quantification de l'observabilité dans un contexte mono ou multiparamètre.

## I. MOTIVATION

Pour les activités de surveillance océanique (civiles/militaires), il est essentiel de connaître le maximum d'information sur les caractéristiques de l'environnement marin. Dans ce contexte, les dispositifs hyperfréquences (radar ou autres) constituent des outils de télédétection privilégiés. Pour un système hyperfréquence donné, les configurations expérimentales, choix des angles d'incidence et des angles de perception du signal diffusé (contexte bistatique et multistatique), jouent un rôle important sur la capacité de discernement de ces états de mers.

L'objectif de notre étude est de proposer des outils de quantification de cette "observabilité" liée aux systèmes hyperfréquences pouvant impliquer de multiple configuration. Clairement, la perspective est de pouvoir optimiser les configurations opérationnelles de ces systèmes.

Notre travail s'appuie largement sur la modélisation numérique (Method of Moment) et des processus de Monté Carlo. La quantification de l'observabilité découle de l'analyse statistique des résultats de simulation des coefficients de diffusion bi-statique pour différents états de surface de mer (différentes vitesses de vent).

Dans un premier temps, les profils de surface de mer 2D, correspondant à des vitesses de vent données, sont générés aléatoirement en utilisant la convolution de spectre d'Elfouhaily avec des signaux blancs Gaussien normés. Dans un deuxième temps, nous calculons les coefficients de diffusion bi-statiques avec la Méthode de Moments (dimension 3). Enfin, en prenant un critère de contraste de données comme la valeur-T ou le discriminant de Fichers, nous quantifions l'observabilité.

## II. MODELISATION DE LA SURFACE DE MER

Le profil de surface de mer est considéré comme un système physique aléatoire dont l'évolution est essentiellement influencée par le vent et la gravité [1]. Sa représentation analytique est souvent donnée sous forme de spectre de mer. Plusieurs modèles de spectre ont été développés : Pierson-Moskowitz, Elfouhaily, Kudriashev etc. Nous adoptons le spectre d'Elfouhaily car celui-ci respecte bien les données d'expérience [4]. Ce spectre est donné sous la forme :

$$S(K, \phi) = M(K)f(K, \phi) \quad (\text{II.1})$$

$M(K)$  est la partie monodirectionnel du spectre,  $f(K, \phi)$  est la fonction angulaire,  $K$  et  $\phi$  sont respectivement le nombre d'onde et la direction du vent. Les profils 2D de surfaces maritimes sont obtenus par la convolution du spectre d'Elfouhaily avec le signal aléatoire Gaussien 2D [7].

## III. CALCUL DE COEFFICIENT DE DIFFUSION BISTATIQUE

La méthode des moments est appliquée pour calculer les coefficients bistatiques de diffusion électromagnétique par la surface maritime. En considérant que la surface mer est un conducteur parfaitement électrique, nous avons comme équation intégrale aux frontières [7] :

$$\frac{\hat{n} \times \overline{H}(\vec{r})}{2} = \hat{n} \times \overline{H}^{inc}(\vec{r}) + \hat{n} \times \int dS' \nabla g(\vec{r}, \vec{r}') \times \hat{n} \times \overline{H}(\vec{r}') \quad (\text{III.1})$$

$\overline{H}^{inc}(\vec{r})$  est l'onde incidente et  $g(\vec{r}, \vec{r}')$  est la fonction de Green. Avec la direction  $\vec{k}_i = k(\sin \theta_i \cos \phi_1 \hat{x} + \sin \theta_i \sin \phi_1 \hat{y} - \cos \theta_i \hat{z})$ , l'onde incidente est donnée comme un faisceau gaussien polarisé [5] :

$$\overline{H}^{inc}(\vec{r}) = \int_{-\infty}^{\infty} d\vec{k}_\rho e^{i(\vec{k}_\rho \cdot \vec{r} - k_z z)} \frac{\psi(\vec{k}_\rho)}{\eta} h(\vec{k}_\rho) \quad (\text{III.2})$$

$k$  est le nombre d'onde,  $\eta$  est l'impédance caractéristique,  $\psi(\vec{k}_\rho)$  est le spectre qui contient l'information de forme de l'onde incidente et  $h(\vec{k}_\rho)$  est la polarisation de l'onde.

## IV. CRITÈRES DE CONTRASTE

L'approche précédemment décrite, associée à un processus de Monté Carlo, permet de fournir un grand nombre de données susceptibles d'être analysées statistiquement. On peut dans ce cas, étudier l'influence de l'état de mer sur un

ou plusieurs coefficients bistatiques ( $\sigma_{hh}$ ,  $\sigma_{hv}$ ,  $\sigma_{vh}$  et  $\sigma_{vv}$ ). Dans le cas où chaque coefficient est analysé séparément (monoparamètre), nous pouvons utiliser un critère de contraste comme la valeur-T [3]. Cependant, un système d'observations plus sophistiquées est capable d'enregistrer les quatre types de polarisation simultanément. Il s'agit alors de quantifier l'observabilité globale (multiparamètre). Dans ce cas, nous pouvons utiliser le critère de discriminant de Fisher (Analyse Discriminante Linéaire) [6].

## V. RESULTAT

Dans cette étude, nous prenons la dimension de surface  $40\text{ m} \times 40\text{ m}$  discrétisée par les petites surfaces  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ . Nous réalisons ensuite 1000 surfaces pour la vitesse du vent  $5\text{ m/s}$ ,  $7\text{ m/s}$ ,  $10\text{ m/s}$ . Quant à l'onde incidente, nous choisissons le longueur d'onde  $4\text{ m}$  dans la direction normal du plan de propagation ( $-90^\circ < \theta_s < 90^\circ$ ).

### A. Coefficient de diffusion bistatique moyen en fonction de la vitesse du vent

Les coefficients de diffusion bi-statique moyens sont maximaux dans la direction spéculaire pour tous les types de polarisation (figure V.1). Toutefois, les niveaux atteints par les co-polarisations ( $\sigma_{hh}$ ,  $\sigma_{vv}$ ) et les polarisation croisées ( $\sigma_{hv}$ ,  $\sigma_{vh}$ ) sont nettement différents.

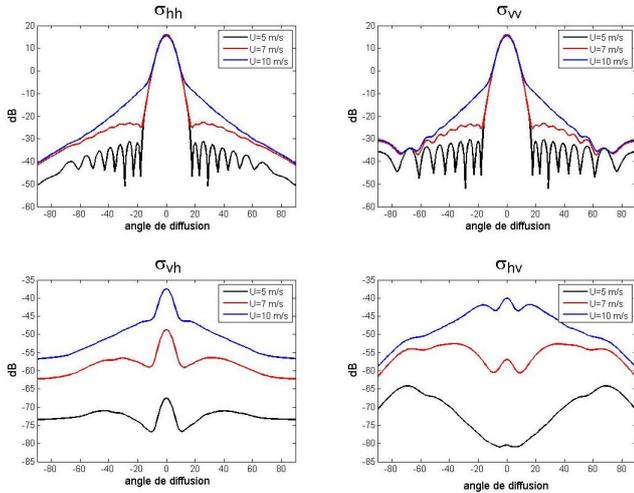


FIGURE V.1. Coefficient bistatique en fonction de vitesse du vent

### B. Observabilité monoparamètre

Nous utilisons la valeur-T pour distinguer la vitesse du vent  $5\text{ m/s}$  et  $7\text{ m/s}$  et puis  $7\text{ m/s}$  et  $10\text{ m/s}$  pour les quatre types de polarisation analysés séparément. Les valeurs-T sont maximales dans la direction spéculaire. Néanmoins, pour la co-polarisation, nous trouvons les points minimums dans la région de la direction spéculaire ce qui n'est pas le cas pour les polarisations croisées (figure V.2).

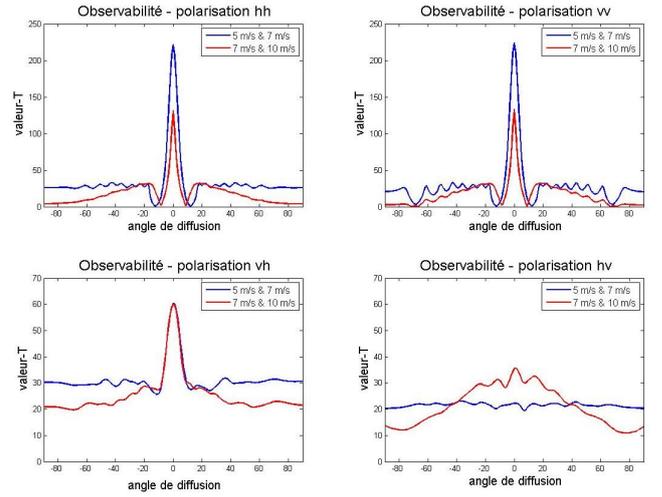


FIGURE V.2. Observabilité monoparamètre avec la valeur-T

### C. Observabilité multiparamètre

Lorsqu'il s'agit de déterminer l'observabilité globale d'un ensemble de paramètres (4 dans notre cas), l'analyse discriminante linéaire, permet d'une part de calculer un contraste global (qui nous quantifiera l'observabilité), et d'autre part d'estimer la meilleur combinaison linéaire des paramètres pour différencier des classes statistiques (différents états de mer). En considérant cette combinaison linéaire pour chaque angle de diffusion, nous trouvons que l'observabilité est plus forte dans la direction spéculaire. Par ailleurs, en étudiant les pondérations associées à chaque coefficient, on constate que les polarisations croisées deviennent significativement plus importantes pour les angles proches de l'angle rasant que dans la direction spéculaire.

## RÉFÉRENCES

- [1] Y. Ayari, A. Khenchaf, and A. Coatanhay, "Bistatic scattering by sea surface at large incident angles : Two scame model using the unified sea spectrum," *Journal of Applied Remote Sensing*, vol. 1013532, pp. 1–19, 2007.
- [2] H. Braunisch, Y. Zhang, C. Ao, S. Shih, Y. Yang, K. Ding, J. Kong, and L. Tsang, "Tapered wave with dominant polarization state for all angles of incidence," *Journal IEEE Trans. Antenne and Propagation*, vol. 48, no. 7, pp. 1086–1096, July 2000.
- [3] A. Coatanhay, "A statistical analysis of the electromagnetic field scattered by the ocean surface in various weather conditions : A numerical study in L-band," in *IGARSS*, Boston, USA, 2008.
- [4] T. Elfouhaily, B. Chapron, K. Katsaros, and D. Vandemark, "A unified directional spectrum for long and short wind-driven waves," *Journal of Geophysical Research*, vol. 102, no. C7, pp. 15 781 – 15 796, 1997.
- [5] R. Khairi, A. Coatanhay, and A. Khenchaf, "The observability of marine weather conditions using the electromagnetic waves scattering from the sea surface : A statistical analysis," in *ICEAA*, Sydney, Australia, 2010.
- [6] G. J. McLachlan, *Discriminant Analysis and Statistical Pattern Recognition*. Wiley-Interscience, 2004.
- [7] L. Tsang, J. Kong, K. Ding, and C. Ao, *Scattering of Electromagnetic Waves. Numerical Simulations*. John Wiley & Sons, 2001.