

Contribution aux études d'images radar de surfaces de mer et mise au point d'un traitement rapide

Anne-Laure Joussetme, étudiante 3^e cycle

Huu Tuê Huynh, Directeur de recherche

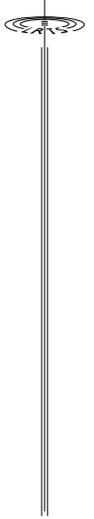
Geneviève Jourdain (CEPHAG, INPGrenoble), Co-directrice

Abstract: In order to introduce radar components into oceanic measurement methods, it is necessary to develop techniques to extract the sea surface features from the received signal. Because of their computation burden, the existing techniques, can not be used in real time applications. In this work, we propose a new approach using a simple model for the sea surface. Based on this simplification, we obtain a bidimensional AR model that serves as basis for a new computation algorithm to rapidly extract the characteristic parameters of the sea surface. This new algorithm automatically includes the correction of the distortion due to the ratio of the radar rotating speed and the wave propagation speed.

Résumé: Pour utiliser un radar comme instrument de mesures océaniques, il est nécessaire de développer des méthodes destinées à retrouver les caractéristiques d'une surface de mer, à partir du signal reçu par le radar. Les techniques actuelles consomment beaucoup de temps de calculs, ce qui empêche des applications en temps réel. Pour pallier à cette difficulté, nous proposons une nouvelle approche basée sur un modèle simple pour la surface de la mer. En plus de sa simplicité de calcul, notre méthode corrige automatiquement la distorsion due au rapport entre la vitesse de balayage du radar et celle des vagues.

1. Introduction

La gestion des navires dans des zones océaniques telles que l'approche des ports ou les plateformes dépend de plus en plus du fait d'avoir accès en temps réel aux informations relevant de la météorologie et de l'océanographie, ceci prenant en compte le vent, les vagues et les courants de surface [1]. D'autre part, plusieurs systèmes radar incluant notamment les radars de marines conventionnels ont démontré leurs capacités à fournir de telles informations sur les surfaces océaniques qu'ils balayent [2]. Grâce à leur faible coût et leur encombrement réduit, ce matériel fait partie de l'équipement standard d'un bateau, et constitue un instrument de mesures océanographiques facile à utiliser [3]. L'étude de ces signaux radar peut conduire à établir des modèles de prévisions des vagues de l'océan, ou encore plus couramment, à extraire des caractéristiques



téristiques spatiales et temporelles de la surface océanique telles que la longueur des courants, leur direction, leur période, la hauteur significative des vagues, et l'état de mer correspondant [4] [5] [6]. À l'heure actuelle, il apparaît que les méthodes d'analyses combinées avec les systèmes de mesures, se doivent d'être améliorées dans l'optique de pouvoir envisager des analyses en temps réel et fournir un courant continu de paramètres météorologiques et océanographiques.

2. Distorsion du spectre océanique.

Le signal radar issu du fouillis de mer n'est pas réellement une "image" au sens où on l'entend habituellement, dans la mesure où celui-ci n'est pas une photographie de la surface océanique prise à un instant donné, mais une succession de signaux unidimensionnels représentant chacun l'écho de la surface océanique dans une direction particulière. Le système de coordonnées polaires s'impose alors face au système cartésien, puisque le signal subit deux échantillonnages distincts et successifs : L'un selon la portée Δr , lié à la fréquence d'échantillonnage du radar, et l'autre selon l'azimut $\Delta\Theta$, lié à la fois à la fréquence PRF et à la vitesse de rotation du radar. L'échantillonnage résultant est par conséquent irrégulier et une forme non carrée des pixels en découle. Les caractéristiques spatio-temporelles contenues dans le signal radar proviennent de la relation linéaire entre l'azimut et le temps $\theta = \alpha_r t$, où α_r est la vitesse de rotation du radar exprimée en radians par seconde, qui introduit une distorsion dans le spectre de l'océan lorsque celui-ci est estimé à partir d'une image radar. En effet, lorsque la vitesse de la vague est beaucoup plus grande que la vitesse de rotation du radar, le signal subit un sous-échantillonnage temporel ce qui entraîne une distorsion du spectre. Cette distorsion, qui peut être qualifiée de temporelle ou azimutale, a pour effet de courber le dessin des crêtes des vagues sur l'image radar, comme nous l'observons sur la figure 1-b.

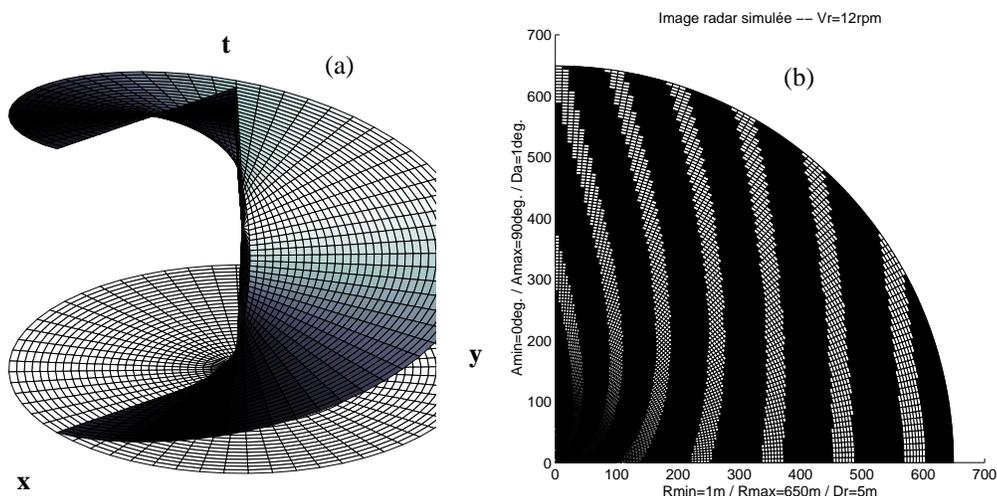


Figure 1 (a) Échantillonnage d'une image radar dans l'espace (x, y, t) . (b) Projection de l'image radar dans le plan (x, y) et effet de distorsion.

Nous avons calculé l'expression littérale de la distorsion du spectre d'un signal tridimensionnel échantillonné selon une surface hélicoïdale (représentée sur la figure 1-a), grâce à la formule suivante:

$$D(k_x, k_y, \omega) = F \left[\delta \left(x, y, t - \frac{1}{\alpha_r} \operatorname{atan} \frac{y}{x} \right) \right] \quad (1)$$

Le résultat de cette expression est schématisé sur les figures 2-a et 2-b. La distorsion se

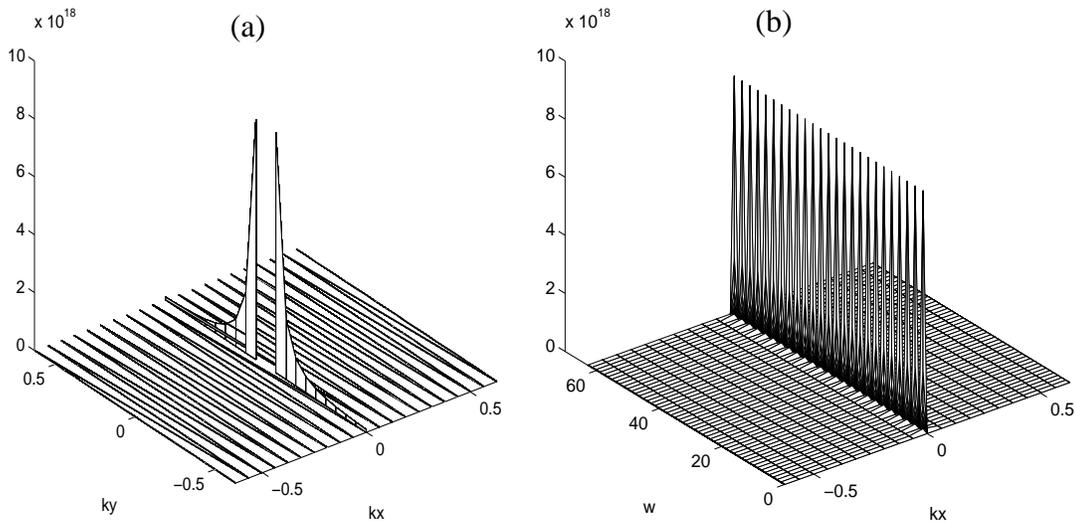
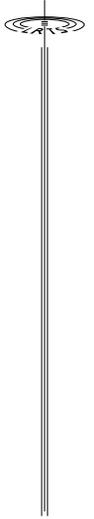


Figure 2 Spectre de la distorsion (a) dans le plan (k_x, k_y) , (b) dans le plan (k_x, ω)

traduit par l'introduction d'une série de pics d'énergie le long de l'axe des fréquences, pouvant nuire à l'estimation des paramètres caractéristiques de la surface de mer, dans le cas d'une estimation par transformée de Fourier multidimensionnelle.

3. Traitement rapide

Afin d'extraire une série de paramètres pertinents (typiquement le nombre d'onde et la direction des vagues) d'une image radar de surface de mer tout en tenant compte de l'effet de distorsion présenté au paragraphe 2, nous avons mis en place un algorithme rapide basé sur une modélisation autorégressive spatiale du signal reçu par le radar. Au lieu de traiter le signal radar comme une image et faire une estimation bidimensionnelle, ce qui alourdit beaucoup les expressions, nous exploitons l'évolution temporelle de l'image radar. Une image radar étant en réalité une succession de signaux unidimensionnels $s_\theta(r)$ représentant chacun le relief marin dans une direction fixée θ et par conséquent pour un temps fixé t , nous pouvons extraire les paramètres AR du signal pour un azimuth donné et retrouver les caractéristiques fréquentielle du signal dans cette direction, à savoir le nombre d'onde fondamental du signal \hat{k}_θ . En répétant cette opération sur l'image complète (c'est-à-dire selon chaque azimuth θ), nous obtenons une



fonction $\hat{k}(\theta)$ qui représente l'estimation du nombre d'onde suivant les différentes directions. Le maximum de cette fonction nous donne la valeur estimée du nombre d'onde sur l'image totale, et la direction θ_m correspondante est la direction de la vague ϕ . Le gain en temps de calcul est très important car on remplace une technique de traitement bidimensionnelle par une analyse unidimensionnelle parfaitement équivalente.

5. Résultats

Les résultats présentés à la figure 3 ont été obtenus à partir d'images radar simulées. Les images ont été construites de façon à se rapprocher le plus possible des signaux réels que nous possédons. Par conséquent, nous avons simulé des signaux radar de surfaces de mer pour des radar émettant à courte et à moyenne portée (portée maximale allant de 1 à 4 kilomètres), et en incidence rasante où le phénomène d'ombrage est prépondérant. Nous traitons ainsi des signaux synthétiques du type de celui présenté à la figure 1-b.

La figure 3, nous montre les estimations des longueur et direction de la vague, selon la nouvelle approche décrite au paragraphe 3, pour différentes longueurs d'onde, directions et rapports signal à bruit. La courbe en pointillés représente l'estimation du nombre d'onde au court de balayage du radar, alors que la courbe en trait plein est un lissage permettant de repérer le nombre d'onde maximum. On obtient alors une très bonne précision sur les estimations tant de la direction que de la longueur d'onde. De plus, cette méthode est très robuste en présence du bruit additif (bruit de mesures).

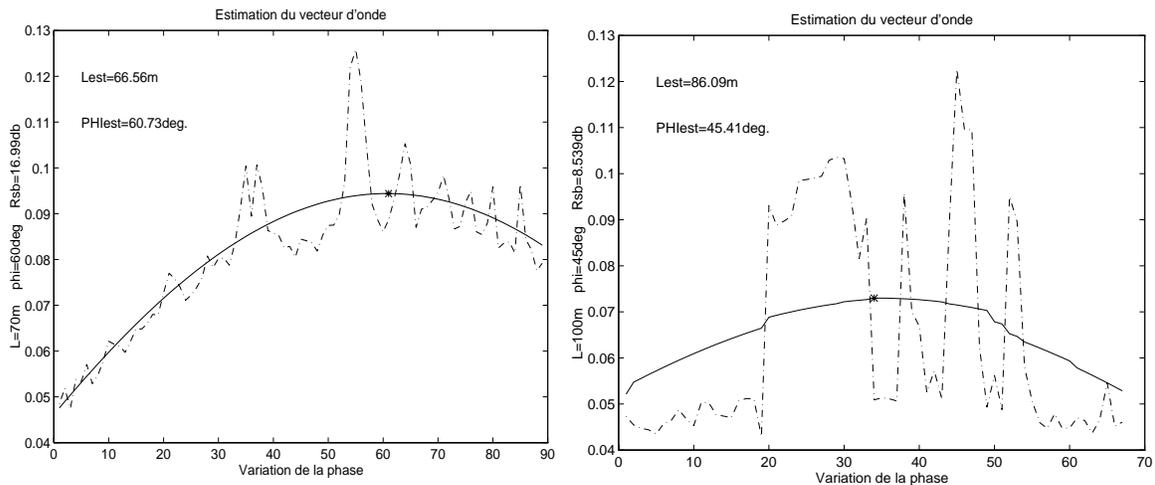


Figure 3 Estimations de la longueur d'onde et de la direction de la vague en présence de bruit.

6. Conclusion

Grâce à un modèle très simple de la surface de mer, nous avons pu mettre au point une nouvelle méthode qui nous permet de caractériser une surface de mer à partir d'un signal reçu par un radar émettant en bande X, et à courte et à moyenne portée. Les résultats obtenus sont satisfaisants car en plus de sa très bonne précision, cette méthode d'analyse est très rapide, ce qui peut permettre des applications en temps réel. Enfin, elle tient compte du système de coordonnées polaires de l'image radar, et corrige automatiquement la distorsion temporelle introduite dans l'image par une vitesse de rotation du radar trop lente.

Références:

- [1] :Peter Dexter, editeur. *WMO/IOC Workshop on operational ocean monitoring using surface based radars*, Genève, Mars 1995.
- [2] Captain G.V. Mackie. Services to the marine community. In *WMO/IOC Workshop on operational ocean monitoring using surface based radars*, Genève, Mars 1995.
- [3] B. Philibert, G.Y. Delisle, M. Lecours, *Utilisation du radar comme instrument de mesures océanographiques*, Rapport technique, LRTS Université Laval, mars 1991.
- [4] :I.R. Young, W. Rosenthal, and F. Ziemer. *A three-dimensionnal analysis of marine radar images for the determination of ocean waves directionnality and surface currents*. Journal of Geophysical Research, 90(C1) pp. 1049-1059, January 1985.
- [5] W. Rosenthal. Perspective of the ROSE. In *WMO/IOC Workshop on operational ocean monitoring using surface based radars*, Genève, Mars 1995.
- [6] O. Gronlie. Microwave Radar Directionnal Wave Measurements : MIROS results. In *WMO/IOC Workshop on operational ocean monitoring using surface based radars*, Genève, Mars 1995.