



Comité National Français de Radioélectricité Scientifique

Section française de l'

Union Radio Scientifique Internationale

Siège social : Académie des Sciences, Quai de Conti – Paris

JOURNÉES SCIENTIFIQUES DU CNFRS

" INTERACTION DU CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE AVEC L'ENVIRONNEMENT"

(OBJETS ET STRUCTURES MANUFACTURÉS OU ENVIRONNEMENT NATUREL)

PARIS, LES 24 ET 25 FÉVRIER 2005

Analyse de spectres Doppler de la surface de la mer en bande L

G. Soriano*, M. Joelson**, P. Forget***, M. Saillard***

*Institut Fresnel, UMR CNRS - Université Paul Cézanne, 13397 Marseille Cedex 20

gabriel.soriano@fresnel.fr

** Climat Sol Environnement, UMR CNRS - Université d'Avignon, 84000 Avignon

maminirina.joelson@univ-avignon.fr

*** LSEET, UMR CNRS - Université du Sud Toulon-Var, 83957 La Garde Cedex

philippe.forget@lseet.univ-tln.fr ; marc.saillard@lseet.univ-tln.fr

Résumé

L'objectif de ce projet est d'exploiter les échos enregistrés par un radar côtier illuminant la surface de la mer, à la fréquence de 1,238 GHz, pour établir des cartes de courant de surface, de houle et de vent. On ne peut espérer obtenir ces informations qu'en tirant profit du mouvement du fluide, grâce à l'effet Doppler. On procède donc à une intégration cohérente de l'écho pendant plusieurs secondes, afin d'obtenir un "spectre Doppler", ceci pour chaque état de polarisation.

Le travail comporte un volet expérimental et un volet simulation numérique. Les expériences ont été conduites avec un radar de la société Degréane-Horizon (<http://www.meteo.degreane.fr>) sur un site de la Marine Nationale à Saint-Mandrier (Var). La modélisation électromagnétique s'appuie sur une approximation spécifique aux surfaces présentant de faibles pentes. La difficulté majeure consiste à représenter de façon réaliste le mouvement de la surface marine sur la durée d'intégration cohérente du radar. Les premiers résultats expérimentaux et numériques sont présentés ci-dessous.

Mots clés : Télédétection, surface de mer, radar UHF, spectre Doppler.

Introduction

La télédétection active de la mer en bande L est réalisée par de nombreux capteurs à vocation satellitaire (SAR, diffusiomètre, altimètre). La compréhension des signatures radar dans cette gamme de fréquences a déjà motivé la mise en oeuvre de radars Doppler cohérents déployés en laboratoire ou en site naturel, mais d'une façon finalement assez marginale. Il nous a semblé intéressant de reconsidérer la technique dans cette perspective fondamentale et aussi, plus généralement, pour son investigation avec un objectif analogue à celui des techniques HF/VHF utilisées en océanographie côtière, c'est-à-dire la mesure des vagues et/ou des courants superficiels.

1. Conditions expérimentales

L'antenne du radar est formée d'un réseau de 8x8 dipôles. Les lobes principaux ont des largeurs horizontales à 3dB de 8°4 en VV (réjection 17 dB) et de 10°0 en HH (14 dB). Ainsi, la largeur des cellules de résolution varie typiquement de la centaine de mètres à 500 m au kilomètre à 5 km. La résolution en distance est de 75 m. Le radar est placé en position surélevée et légèrement tourné vers la mer (incidence mesurée à partir du rasant $\alpha = 9^\circ$ pour $d = 700$ m à $\alpha = 1^\circ$ pour $d = 6000$ m). Une motivation pour cette configuration est de se réserver la possibilité de modéliser les échos avec un code électromagnétique qui gère difficilement les

très faibles angles d'incidence. Les paramètres de pilotage du radar et de traitement du signal sont choisis par l'utilisateur. Le Tableau I donne quelques valeurs typiques.

TABLEAU I
CARACTERISTIQUES TYPQUES DU RADAR ET DES TRAITEMENTS

Fréquence	1.238 GHz
Puissance crête	4000 W
Largeur d'impulsion	0.5 μ s
Cadence des impulsions	200 μ s
Nombre de points temporels/spectraux	128
Nombre de sommations cohérentes	40 à 150
Nombre de sommations incohérentes	20
portée, échantillonnage en distance	50-6000 m, 75 m

2. Propriétés des spectres Doppler

Spectres Doppler en polarisation VV. Ils présentent deux pics assez larges centrés sur des valeurs proches de + et - la vitesse de Bragg $V_B = 0.43 \text{ ms}^{-1}$, suggérant que le principal processus d'interaction entre les ondes électromagnétiques et la surface marine est du type rétrodiffusion de Bragg. La différence $U = V_{max} - V_B$ est due aux courants. Les valeurs de U sont compatibles avec un courant de vent, de l'ordre de quelques % de la vitesse éolienne. Un courant de circulation générale peut également se superposer.

Spectres Doppler en polarisation HH. Ils ressemblent aux précédents mais les vitesses du maximum peuvent être nettement plus élevées lorsque le vent est fort. Il semble que les diffuseurs responsables de la signature soient advectés par les vagues dominantes, par des effets tant hydrodynamiques (déferlements, vagues liées) qu'électromagnétiques (effets d'ombrage en incidence rasante).

3. Modélisation des spectres Doppler

3.1. Représentation de la surface de mer

De nombreux travaux, basés sur des mesures *in-situ*, ont conduit à l'élaboration de représentations spectrales empiriques de la surface de la mer. La connaissance de la seule densité spectrale de puissance est insuffisante car, du fait de la non-linéarité des équations de l'hydrodynamique, un échantillon de surface de mer obtenu par simple superposition de vagues de différentes longueurs d'onde aléatoirement déphasées n'est pas "réaliste". Certaines approches proposent de superposer la contribution spatiale des (faibles) non-linéarités à de tels échantillons [1], alors qu'elles sont déjà intégrées dans la représentation spectrale empirique. Ceci conduit à surévaluer l'amplitude des petites vagues (typiquement sub-métriques). Si cela a peu d'influence en télédétection basse fréquence, car l'écho radar n'est pas sensible à ces échelles, il en va autrement dans le domaine des micro-ondes. Nous avons donc débarrassé le spectre d'une partie de son énergie, de sorte qu'une fois les non-linéarités hydrodynamiques prises en compte, le spectre coïncide avec un spectre empirique. La théorie sur laquelle s'appuie notre démarche suppose que les non-linéarités n'apportent qu'une petite correction [2]. Le cas des forts vents ne peut pas être abordé par ce biais.

3.2. Modélisation électromagnétique

Malgré les progrès récents des méthodes numériques et des performances des ordinateurs, l'utilisation d'un formalisme rigoureux pour la résolution du problème de diffraction (harmonique) conduirait à des temps de calcul prohibitifs. Comme la surface océanique présente des faibles pentes et une faible épaisseur de peau, nous avons développé une méthode approchée spécifique, obtenu en combinant les approximations de Meecham-Lysanov et d'impédance sur une équation intégrale de frontière. Le temps de calcul se comporte comme $N \log N$, où N est le nombre d'inconnues, et la mémoire requise est proportionnelle à N [3]. Ceci nous permet de traiter des surfaces de plusieurs centaines de m^2 . Néanmoins, nous ne pouvons pas traiter des incidences (rasantes) de moins de 10° pour des questions de taille de problème et de précision. En effet, lorsqu'on tend vers l'incidence rasante, l'écho radar diminue et la tache d'éclaircissement du faisceau augmente, ce qui revient à exiger une précision d'autant plus grande que le problème à résoudre est de grande taille. Le problème de diffraction est résolu à chaque pas de temps, et l'amplitude complexe du champ rétrodiffusé est intégrée. Enfin, les résultats sont moyennés sur une centaine d'échantillons.

Conclusion

Les premiers résultats numériques obtenus permettent de retrouver les comportements attendus en fonction des paramètres environnementaux, et les spectres sont comparables aux spectres mesurés et présentés dans la littérature pour cette gamme d'incidences. En polarisation V , les spectres simulés et mesurés par nous en incidence rasante présentent de fortes similitudes. Le point le plus sensible de la modélisation réside dans la représentation de la surface de la mer. De nouvelles représentations doivent être testées, et des paramètres tels que la direction de la houle (par opposition aux vagues de vent) le fetch et l'âge des vagues intégrées au modèle.

Références bibliographiques

1. D.E. Barrick and B.L. Weber, On the nonlinear theory for gravity waves on the ocean's surface. Part II: Interpretation and applications, *J. Phys. Oceanogr.*, vol. 7, pp 11-21, 1977
2. D .B. Creamer, F. Henyey, R. Schult, J. Wright, Improved linear representation of ocean surface waves, *J. Fluid Mech.*, vol. 205, pp. 135-161, 1989
3. M. Saillard, G. Soriano, Fast numerical solution for scattering from rough surfaces with small slopes, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 52, pp2799-2802, Oct. 2004