



L'ÉLECTROMAGNÉTISME, 150-1 UNE SCIENCE EN PLEINE ACTION !

Modélisation de l'émissivité infrarouge thermique de mers polluées par des nappes d'hydrocarbures pour des vents modérés

Modeling of thermal infrared emissivity of oil slicks on sea surfaces for moderate winds

*Nicolas Pinel**, *Christophe Bourlier**, *Irina Servieskaya***

*LUNAM Université de Nantes – IETR, Polytech Nantes, {nicolas.pinel,christophe.bourlier}@univ-nantes.fr

**IAP – Académie des Sciences de Russie, Nizhny Novgorod 603600, Russie, i.sergia@hydro.appl.sci-nnov.ru

Mots-clés : Modélisation électromagnétique, Surfaces maritimes, Emissivité infrarouge,
Télé-détection de pollutions

Electromagnetic modeling, Maritime surfaces, Infrared emissivity, Pollution remote sensing

Résumé

La détection, l'identification et la quantification de nappes d'hydrocarbures à la surface de la mer sont essentiels dans la lutte contre les pollutions maritimes, afin d'enrayer de telles pollutions. En infrarouge, comme la longueur d'onde électromagnétique est de l'ordre de grandeur de l'épaisseur des nappes d'hydrocarbures, la réponse électromagnétique est potentiellement sensible à l'épaisseur de la nappe. Ceci permet d'envisager, contrairement aux longueurs d'ondes centimétriques, la quantification de la pollution. Ainsi, cette étude s'intéresse à l'émissivité infrarouge (IR) thermique de mers propre et polluée, en considérant l'approximation de l'optique géométrique (OG). Le phénomène d'ombrage de la surface rugueuse est pris en compte, rendant le modèle valide quel que soit l'angle d'incidence. Le phénomène de multiples réflexions par la même interface est négligé, ce qui limite l'application du modèle à des vents modérés. En revanche, le phénomène de multiples réflexions entre les 2 interfaces de la nappe d'hydrocarbure est pris en compte.

1. Introduction

La détection, l'identification et la quantification de nappes d'hydrocarbures à la surface de la mer sont essentiels dans la lutte contre les pollutions maritimes, afin d'enrayer de telles pollutions. En infrarouge, comme la longueur d'onde électromagnétique λ est de l'ordre de grandeur de l'épaisseur H des nappes d'hydrocarbures, la réponse électromagnétique est potentiellement sensible à l'épaisseur H de la nappe. Ceci permet d'envisager, contrairement aux longueurs d'ondes centimétriques, la quantification de la pollution.

Ainsi, cette étude s'intéresse à l'émissivité infrarouge (IR) thermique de mers propre et polluée, en considérant l'approximation de l'optique géométrique (OG). Le phénomène d'ombrage de la surface rugueuse est pris en compte, rendant le modèle valide quel que soit l'angle d'incidence. Le phénomène de multiples réflexions par la même interface est négligé, ce qui limite l'application du modèle à des vents modérés. En revanche, le phénomène de multiples réflexions entre les 2 interfaces de la nappe d'hydrocarbure est pris en compte. Dans ce qui suit, la modélisation hydrodynamique des surfaces est résumée dans la section 2, et la modélisation électromagnétique, basée sur l'OG, dans la section 3.

2. Modélisation hydrodynamique de surfaces de mers propre et polluée

Afin de modéliser de façon réaliste l'émissivité IR de mers recouvertes d'hydrocarbures, il est essentiel de décrire correctement ces surfaces rugueuses par une modélisation hydrodynamique appropriée. Dans ce papier, pour des surfaces maritimes, le modèle de spectre d'Elfouhaily *et al.* est utilisé. Pour le cas spécifique de nappes d'hydrocarbures à la surface de la mer, le "Model of Local Balance" (MLB) [1] est mis en œuvre.

La figure 1 illustre le lissage du spectre de surface dû à la présence d'une nappe d'hydrocarbure à la surface de la mer, à l'aide du modèle MLB, pour un vent $u_{10} = 5$ m/s. La nappe d'hydrocarbure est caractérisée par une viscosité cinématique $\nu_{oil} = 0.5$ cm²/s, d'épaisseur H égale à 100 μ m ou 500 μ m. De manière similaire à

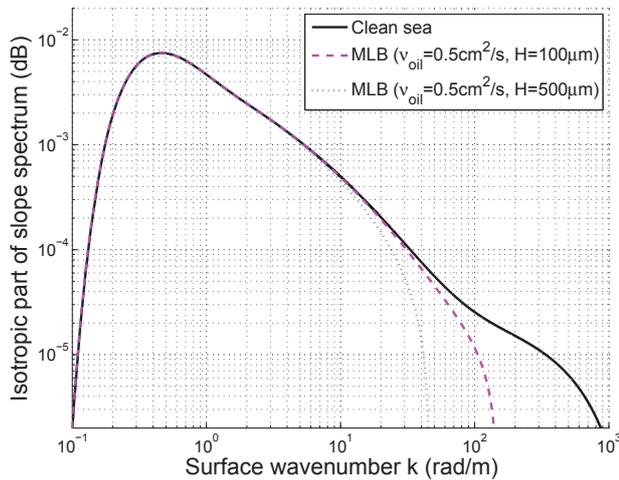


FIGURE 1 – Partie isotrope du spectre des pentes de surfaces de mers propres et polluées en fonction du nombre d’onde de la surface k , pour une vitesse du vent $u_{10} = 5$ m/s. Pour la mer polluée, la viscosité de l’hydrocarbure $\nu_{oil} = 0.5$ cm²/s et l’épaisseur de la nappe $H = \{100, 500\}$ μm

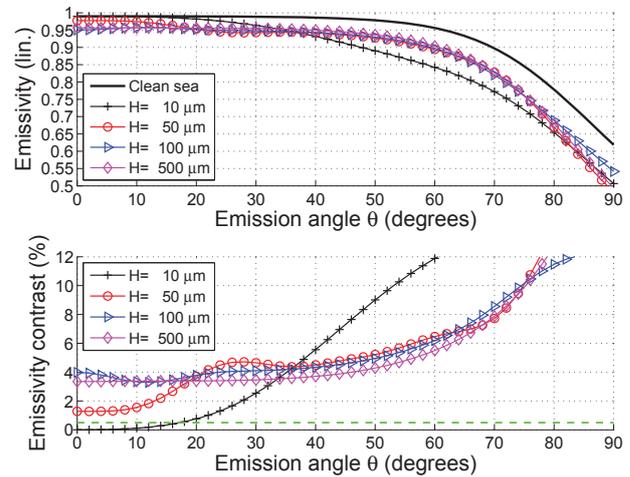


FIGURE 2 – Émissivité non polarisée (figure du haut) de mers propres et polluées et contraste associé par rapport à une mer propre (figure du bas) en fonction de l’angle d’émission θ , pour une longueur d’onde $\lambda = 10$ μm, $u_{10} = 5$ m/s et une direction du vent $\phi = 0$. Pour la mer polluée, $\nu_{oil} = 0.5$ cm²/s et $H = \{10, 50, 100, 500\}$ μm.

Fuks et Zavorotny [2], nous pouvons constater que le lissage prédit par le MLB est très faible pour des nombres d’ondes de la surface k petits, correspondant à de grandes longueurs de corrélation L_c . Pour des nombres d’ondes k supérieurs à quelques dizaines de rad/m (correspondant à des valeurs de L_c de quelques centimètres à décimètres), un très fort lissage est observé. Ici, pour $H = 100$ μm, la limite est de l’ordre de 30 – 40 rad/m, et pour $H = 500$ μm, elle est de l’ordre de 100 rad/m. Ainsi, les composantes de la surface ayant une longueur de corrélation L_c inférieure à quelques centimètres peuvent être négligées (voir Fig. 1). Cette limite dépend de l’épaisseur H de la nappe comme illustré ici, mais aussi de la viscosité ν_{oil} .

3. Modélisation de l’émissivité IR de mers propres et polluées sous l’OG

Ainsi, cette modélisation hydrodynamique est utilisée pour la modélisation électromagnétique, basée sur l’OG [3]. Le phénomène d’ombrage de la surface rugueuse est pris en compte, rendant le modèle valide quel que soit l’angle d’incidence. Le phénomène de multiples réflexions par la même interface est négligé, ce qui limite l’application du modèle à des vents modérés. Ici, l’émissivité IR thermique de mers propres et polluées est étudiée dans les fenêtres de transmission atmosphérique IR [3; 5] μm et [8; 13] μm. La figure 2 présente des résultats numériques dans la seconde fenêtre, à $\lambda = 10$ μm. La vitesse du vent est identique à celle de la figure 1, et pour la nappe d’hydrocarbure, sa viscosité et son épaisseur sont identiques également. De plus, 2 courbes avec des épaisseurs plus faibles $H = 10$ μm et $H = 50$ μm sont ajoutées. Les résultats sont présentés dans la direction du vent ($\phi = 0$).

Comparativement à la mer propre, les résultats de la mer polluée pour différentes épaisseurs H possèdent des différences significatives, sauf pour $H = 10$ μm à des angles d’émission (observation) θ proches de 0 par rapport au zénith. De plus, en comparant les courbes des différentes épaisseurs entre elles, des différences significatives de variations en fonction de θ sont observées, en particulier pour les plus faibles épaisseurs. Ainsi, à partir de mesures à différents angles d’émission, il est possible d’évaluer l’épaisseur de la nappe. Enfin, d’autres simulations [3] (non présentées ici) pour différents types de pétrole (caractérisés par des viscosités ν_{oil} différentes) montrent l’influence de la viscosité sur l’émissivité IR, ce qui implique qu’il est également possible de caractériser la nappe par un tel moyen de mesure.

Références

- [1] S.A. Ermakov, S.G. Salashin, and A.R. Panchenko, “Film slicks on the sea surface and some mechanisms of their formation,” *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, vol. 16, no. 3-4, pp. 279–304, 1992.
- [2] I.M. Fuks and V.U. Zavorotny, “Polarization dependence of radar contrast for sea surface oil slicks,” in *IEEE Radar Conference*, 2007.
- [3] N. Pinel, C. Bourlier, and I. Sergievskaya, “Unpolarized emissivity of thin oil films over anisotropic Gaussian seas in infrared window regions,” *Applied Optics*, vol. 49, no. 11, pp. 2116–2131, Apr. 2010.