



Améliorations de la méthode des pas fractionnaires comme solution à l'équation parabolique de propagation au-dessus de la mer

Arnaud Ricci, étudiant 2^e cycle

Dr Michel Lecours, directeur de recherche

Abstract: Radiowave propagation over the sea is greatly affected by atmospheric refraction and the sea surface. The parabolic equation method provides a numerical solution for calculation of field strength in the presence of a non-standard refractive index and a rough sea. The Split-Step Fourier method for solving the parabolic equation over the sea has been implemented at the LRTS in a previous study. Thus, we introduce the improvements that can be done in order to correct the limitations we currently face in the present PE-LRTS software [1].

Résumé: La propagation des ondes radio au-dessus de la mer est affectée par la réfraction atmosphérique et par l'état de mer. La méthode de l'équation parabolique permet le calcul de la propagation dans des conditions atmosphériques non-standard et en présence d'une mer agitée. La méthode Split-Step Fourier pour résoudre l'équation parabolique de propagation au-dessus de la mer a été implantée au LRTS dans la cadre d'une étude précédente. Nous présentons donc les améliorations auxquelles il est possible de procéder afin de corriger les limitations du logiciel PE-LRTS dans son état actuel [1].

Le calcul des pertes dans les conduits formés aux fréquences radar à la surface de la mer est une composante importante de l'étude de la complémentarité des systèmes navals électro-optique et radar. Bien que les conduits soient principalement connus pour propager l'énergie bien au-delà de l'horizon terrestre, certains types de conduits, peu considérés jusqu'ici quoique fréquents dans les régions côtières, engendrent des zones d'affaiblissement important à des distances critiques où les systèmes électro-optiques démontrent normalement de bonnes performances.

Parmi les méthodes utilisées pour calculer les pertes dans les conduits, la méthode de résolution de l'équation parabolique par pas fractionnaires utilisant la transformée de Fourier [2] (SSFPEM: Split-Step Fourier Parabolic Equation Method) s'est avérée la plus populaire au cours des dernières années. Cela est principalement dû à ses performances en temps de calcul. Cependant, cette méthode possède des faiblesses majeures dans les cas où les réflexions spéculaires jouent un rôle important.

Lors d'une étude précédente, M.Cayer [1] a développé le logiciel PE-LRTS, basé sur la méthode Split-Step Fourier, servant à calculer la propagation des ondes dans la troposphère. La réflectivité γ est prise en compte au moyen d'un coefficient de réflexion appliqué, à l'aide de la théorie des images [3], au champ réfléchi sur le sol. Le coefficient de réflexion est calculé à partir des équations de Fresnel, lesquelles dépendent de la polarisation et de la fréquence de l'onde électromagnétique ainsi que de la permittivité et de la conductivité du sol. L'indice de réfraction est inclus directement dans l'équation parabolique et est donc implicitement pris en compte lors du calcul de la solution, en admettant que les conditions troposphériques soient connues à un instant donné. Le domaine de calcul de la propagation est illustré à la figure 1.

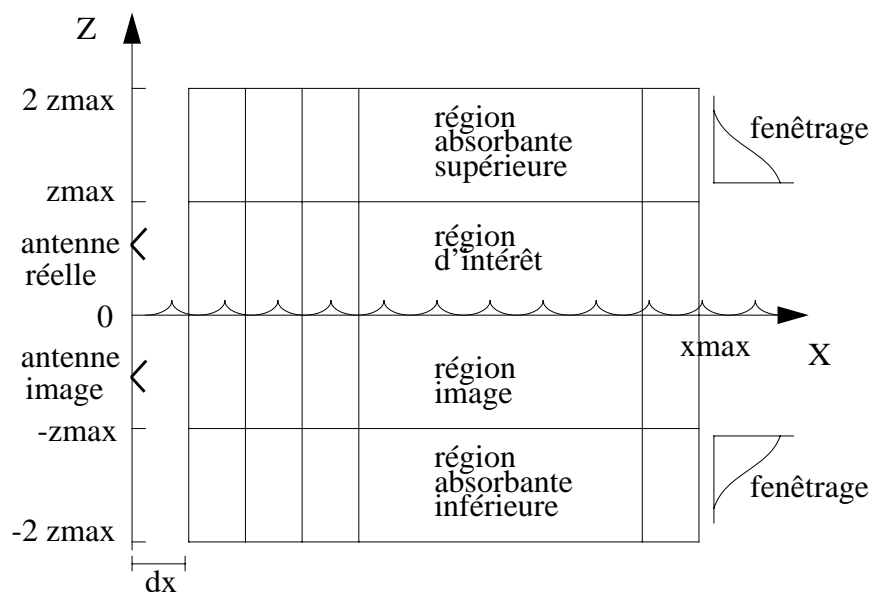


Figure 1 : Domaine de calcul du champ électromagnétique.

Une étude comparative[4] entre le logiciel commercial PCPEM et notre logiciel a permis de vérifier qu'il y a bien une très grande concordance entre les résultats obtenus par l'un ou l'autre des deux logiciels. Cependant, force est de constater que cette étude a également mis évidence un certain nombre de limitations du logiciel PE-LRTS. L'algorithme SSFPEM suppose qu'on se trouve dans l'hypothèse du champ lointain de l'antenne émettrice, mais ne fournit aucun moyen de calcul du champ dans le premier plan vertical à insérer dans l'algorithme. Ainsi, il faut faire un choix quant au calcul du champ initial. La figure 2 présente les facteurs de propagation à 1km obtenus dans les deux logiciels, et fait apparaître une différence majeure entre les deux résultats obtenus. Cependant, on peut remarquer à juste titre que malgré cela, les résultats obtenus sont presque identiques après une propagation sur quelques kilomètres.

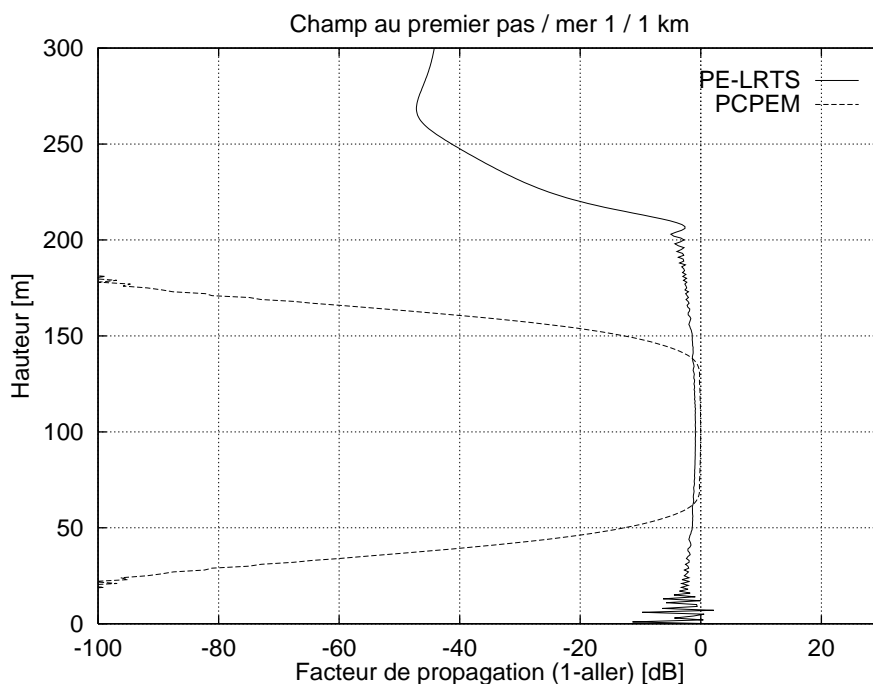
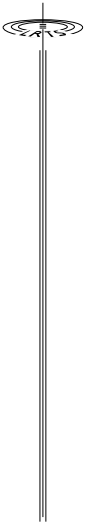


Figure 2 : Facteur de propagation en fonction de la hauteur pour une atmosphère standard à 1km

Outre les limitations liées au champ initial, spécifiques à notre logiciel, la méthode Split-Step Fourier ne permet pas de tenir compte convenablement de la rugosité de la mer. Avec la méthode de la région image, on applique au champ image un coefficient de réflexion calculé en supposant une propagation en ligne droite des rayons. La méthode du tracé de rayon nous permet de déterminer avec plus de précision les angles de frappe des rayons sur la surface de la mer, et donc les coefficients de réflexion correspondant. Cette correction n'a que peu d'effets dans les cas de propagation standards, mais devrait laisser apparaître des différences notables pour des conduits d'advection de surface élevés, ou des conduits dont la hauteur varie avec la distance. Ainsi, parallèlement à l'étude comparative, nous avons implanté la méthode du tracé de rayon (RT), ainsi que son inclusion au sein de PE-LRTS. Le nouveau logiciel obtenu, RT-PEM-LRTS, est actuellement en cours de validation.

De plus, jusqu'à présent, la mer a été modélisée comme une surface plane, et l'état de mer n'a été pris en compte que par une modification empirique du champ image. Nous envisageons donc de modifier cette simple modification par l'inclusion d'un modèle aléatoire de la surface de la mer, ce qui nous amènera notamment à modifier aléatoirement le coefficient de réflexion appliqué au champ image initial.

Une fois terminées ces améliorations, le logiciel RTPEM-LRTS nous permettra, outre le calcul de la propagation, de comparer nos résultats avec ceux de logiciels commerciaux.



- [1] M. Cayer, *Analyse de la méthode Split-Step Fourier pour résoudre la propagation des ondes électromagnétiques au-dessus de la mer*, mémoire de maîtrise, Université Laval, Mars 1995.
- [2] K. H. Craig and M. F. Lévy, *Parabolic equation modelling of the effects of multipath and ducting on radar systems*, IEE proceedings, Vol. 138, No. 2, April 1991, pp. 153-162.
- [3] M. H. Vogel, *The split-step algorithm for microwave propagation modeling above a conducting surface*, TNO Physics and Electronics Laboratory report nr. FEL-92-A430, February 1993.
- [4] M. Cayer, A. Ricci, M. Lecours, D. Dion, *Prédiction de propagation normale et anormale par la méthode Split-Step Fourier*, rapport de recherche LRTS, Mars 1996.