



---

## Etude des interactions entre une onde électromagnétique, un objet canonique et une surface rugueuse

---

F. KOUDOGBO\*, P.F. COMBES\*, H.J. MAMETSA\*\*

\*UPS-IGEEP-AD2M, 118 route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex - ☎ : 33 (0)5 62 25 27 13 - pcombes@cict.fr

\*\* ONERA-DEMR, 2 avenue Edouard Belin, 31055 Toulouse Cedex - ☎ : 33 (0)5 62 25 27 07 - mametsa@oncert.fr

---

### Résumé

Les méthodes électromagnétiques permettant de traiter, et par suite, caractériser la diffusion d'une onde électromagnétique par une surface rugueuse peuvent être classées en deux catégories : les méthodes numériques, telles que la Méthode des Moments, qui sont exactes mais ont l'inconvénient de nécessiter parfois des temps de calcul très importants et les méthodes asymptotiques ou approchées.

C'est à ce dernier type de méthodes que nous nous sommes intéressés. Nous avons développé une méthode analytique de modélisation de la diffusion par des surfaces rugueuses, basée sur l'utilisation de la Méthode de l'Equation Intégrale (IEM). Nous en avons déduit le coefficient bistatique de diffusion surfacique et de plus nous avons évalué le couplage électromagnétique entre un objet canonique et une surface rugueuse.

Mots clés : diffusion surfacique, IEM, couplage électromagnétique

---

### Introduction

Les méthodes électromagnétiques permettant de traiter, et par suite, de caractériser la diffusion d'une onde électromagnétique par une surface rugueuse peuvent être classées en deux catégories : les méthodes numériques, telles que la Méthode des Moments, qui sont exactes mais ont l'inconvénient de nécessiter parfois des temps de calcul très importants et les méthodes asymptotiques ou approchées.

C'est à ce dernier type de méthodes que nous nous sommes intéressés ; nous avons développé une méthode analytique rigoureuse de modélisation de la diffusion par des surfaces rugueuses, basée sur l'utilisation de la Méthode de l'Equation Intégrale. Nous en avons déduit le coefficient bistatique de diffusion surfacique et de plus nous avons évalué le couplage électromagnétique entre un objet canonique et une surface rugueuse.

### 1. Calcul de la diffusion surfacique par la Méthode de l'Equation Intégrale (IEM)

L'IEM repose sur une méthode de résolution de l'équation intégrale du champ électrique qui consiste à considérer une expression des courants surfaciques mieux approchée que dans le cas de la Méthode de Kirchhoff [1] [2]. Le champ électrique s'exprime sous la forme de la somme de deux composantes, l'une appelée champ de Kirchhoff (calculé à partir de l'approximation du plan tangent) et l'autre appelée champ complémentaire (qui permet de mieux tenir compte des interactions multiples entre l'onde et les rugosités environnantes).

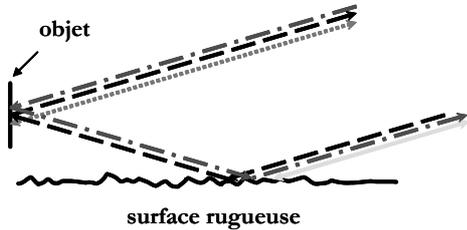
Du fait de cette expression, le coefficient de diffusion surfacique s'écrit sous la forme d'une somme de trois termes appelés respectivement terme de Kirchhoff, terme croisé et terme complémentaire.

Dans le cas où les hauteurs RMS des irrégularités notées  $s_z$  sont inférieures au tiers de la longueur d'onde ( $ks_z \leq 2$ ), une modélisation rigoureuse de la diffusion surfacique a été réalisée à partir de l'IEM. Les mécanismes de diffusions cohérente et incohérente ont été étudiés dans le détail, en configuration monostatique et bistatique, afin de mettre en évidence leur évolution en fonction de la rugosité de la surface considérée. Nos travaux ont été validés lors de campagnes de mesure réalisées au Département Electromagnétisme et Radar de l'ONERA [3]. Nous avons aussi comparé nos données à des résultats que nous avons recueillis dans des articles appropriées [1] [2]. Tout ceci a fait l'objet d'un chapitre paru dans PIER en janvier 2004 [4].

Le cas des fortes rugosités, lorsque les hauteurs des irrégularités sont de l'ordre de la longueur d'onde, est encore en cours de traitement [5] [6].

## 2. Application à l'évaluation du comportement d'un objet dans son environnement

Dans le cadre des applications de nos travaux, nous nous sommes intéressés au couplage électromagnétique entre un objet et une surface rugueuse. Dans cette étude, l'objet est représenté par une forme canonique simple et l'environnement par une surface rugueuse. La rétrodiffusion totale par l'ensemble objet-surface est décomposée suivant quatre mécanismes différents (Fig1).



- Trajet 1 : Rétrodiffusion directe par l'objet (.....)
- Trajet 2 : Rétrodiffusion directe par la surface (—)
- Trajet 3 : Rétrodiffusion indirecte objet-surface-récepteur (— .)
- Trajet 4 : Rétrodiffusion indirecte surface-objet-récepteur (- - -)

Fig1 : Mécanismes de rétrodiffusion par l'objet composé facette+surface

Les champs rétrodiffusés par l'objet et la surface, quand elle est lisse, sont modélisés à partir de l'Optique Physique (OP). Lorsque la surface est rugueuse, nous employons l'IEM pour estimer la contribution du Trajet 2.

La caractérisation du Trajet 3 est ensuite réalisée en étudiant d'abord le trajet de couplage entre l'objet et la surface, puis la diffusion par cette dernière en direction du récepteur. Nous employons, comme indiqué sur le Tableau 1, différentes méthodes électromagnétiques suivant la rugosité de la surface et la distance relative entre les deux éléments. Précisons que OG désigne l'Optique Géométrique.

Le Trajet 4 est enfin lui aussi décomposé en deux sous trajets : le trajet de couplage entre la surface et l'objet, puis la diffusion par l'objet. Lorsque la surface est lisse à peu rugueuse et que les deux éléments sont en champ proche l'un de l'autre, nous modélisons le faisceau réfléchi par la surface en appliquant le formalisme de l'OG. La faible rugosité sera prise en compte en utilisant les coefficients de Fresnel modifiés (cFm) (Tableau 2) [7].

	Les 2 éléments sont en <u>champ proche</u>	Les 2 éléments sont en <u>champ lointain</u>
Surface <u>lisse</u>	OG puis OP	OP puis OP
Surface <u>rugueuse</u>	OG puis IEM	OP puis IEM

Tableau 1 : Méthodes de modélisation du Trajet3

	Les 2 éléments sont en <u>champ proche</u>	Les 2 éléments sont en <u>champ lointain</u>
Surface <u>lisse</u>	OG puis OP	OP puis OP
Surface <u>rugueuse</u>	cFm puis OP	IEM puis OP

Tableau 2 : Méthodes de modélisation du Trajet4

Le champ total rétrodiffusé est ensuite calculé en sommant de manière cohérente les champs rétrodiffusés suivant les différents trajets décrits dans les paragraphes précédents [3]. L'originalité de cette étude réside dans la prise en compte du couplage proche ou lointain entre les deux éléments. Nous avons mis en évidence que les trajets de couplage sont ceux qui ont la plus grande contribution à la rétrodiffusion totale.

### Conclusion

Les travaux que nous avons effectués nous ont permis de modéliser, avec des temps de calculs raisonnables,

- d'une part, la diffusion par des surfaces moyennement rugueuses ( $s_z \leq \lambda/3$ ) en utilisant la formulation la plus élaborée de l'IEM,
- d'autre part, le couplage électromagnétique entre un objet canonique et une surface rugueuse grâce à l'hybridation des méthodes les plus appropriées.

Nos travaux portent actuellement sur la validation des résultats obtenus pour le couplage d'un objet canonique avec une surface rugueuse et sur leur généralisation au cas d'objets complexes.

### Références bibliographiques

- [1] A.K. FUNG, « Microwave scattering and emission models and their applications », Artech House, 1994.
- [2] A. K. FUNG, W. Y. LIU, K. S. CHEN ET M. K. TSAY, « An improved model for bistatic scattering from rough surfaces », *Journal of Electromagnetic Waves and Applications (JEW)*, vol 16, n°5, p 689-702, 2002.
- [3] F. KOUDOGOBO, « Etude des diffusions de surface et de volume par une surface rugueuse diélectrique. Calcul des interactions entre un objet 3D et une surface naturelle », *Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier (Toulouse 3)* Novembre 2002.
- [4] F. KOUDOGOBO, P.F. COMBES, H-J. MAMETSA, « Numerical and experimental validations of IEM for bistatic scattering from natural and manmade rough surfaces », *PIER 46 (Progress In Electromagnetic Research)*, p. 203-244, 2004.
- [5] C. HSIEH, A. K. « Application of an extended IEM to multiple surface scattering and backscatter enhancement », *Journal of Electromagnetic Waves and Applications (JEW)*, vol 13, p 121-135, 1999.
- [6] C. HSIEH, « Prediction of IEM model for backscattering enhancement », *Electromagnetics*, vol 20, p 205-231, 2000.
- [7] J.A. OGILVY, « Theory of wave scattering from random rough surfaces », *Adam Hilger*, 1991.