



L'ÉLECTROMAGNÉTISMES, 150-1

UNE SCIENCE EN PLEINE ACTION !

Modèle électromagnétique asymptotique 3D par sommation de faisceaux gaussiens

Electromagnetic asymptotic 3D model using gaussian beams summation

Jean-Marc Darras, Thierry George**, Philippe Pouliguen****

* Celum, jean-marc.darras@celum.fr

** Celum, thierry.george@celum.fr

***DGA, philippe.pouliguen@dga.defense.gouv.fr

Mots clés : propagation, asymptotique (asymptotic), diffraction, faisceaux gaussiens (gaussian beams)

Introduction

Nous avons conçu et développé un modèle asymptotique 3D de simulation de la propagation électromagnétique par sommation de faisceaux gaussiens (SFG). Notre approche SFG 3D est originale. Elle est actuellement en cours d'évaluation dans le cadre d'une convention RAPID. A partir d'un lancer de rayons, elle combine les interactions multiples sur des objets complexes et des ensembles d'objets. Outre les réflexions et transmissions aux interfaces, elle prend en compte la diffraction par les arêtes vives. Des cartes de champ ou des diagrammes de rayonnement (SER) peuvent être calculés en harmonique pour une source ponctuelle ou une onde plane incidente. Le champ simulé est régulier sur les caustiques géométriques et il est valable sur les points focaux. Les temps calcul sont très intéressants.

Eléments de la méthode

1. Normalisation des faisceaux gaussiens

L'approche SFG la plus couramment appliquée en électromagnétisme consiste à déterminer un nombre limité de faisceaux lancés grâce à une décomposition mathématique du champ initial (par exemple selon un frame de Gabor, cf. les travaux dirigés par C.Letrou [1]). Notre méthode est différente. Elle consiste à représenter le champ final par une intégrale continue de faisceaux gaussiens (discrétisée pour sa mise en œuvre informatique).

$$\underline{u}^{SFG} = \iint \underline{\psi}(\underline{\gamma}, s) \exp \left\{ -j\omega \left[\tau(\underline{\gamma}, s) + \frac{\delta q^t \cdot \underline{M}(\underline{\gamma}, s) \cdot \delta q}{2} \right] \right\} \cdot d\underline{\gamma}$$

L'expression de normalisation des faisceaux est obtenue en égalant la solution asymptotique de l'intégrale SFG (point selle) au champ de l'optique géométrique (i.e. de la théorie des rayons). Il s'agit d'une adaptation 3D de la démarche 2D proposée par Popov et Cerveny [2][3]. Cette normalisation asymptotique permet d'obtenir une famille de solutions qui est ensuite réduite en identifiant le champ sur les caustiques dégénérées. L'expression trouvée procure, après sommation des faisceaux, le même résultat que le calcul géométrique dans les zones régulières, mais aussi un champ fini et continu à la traversée des caustiques et points focaux, là où le calcul géométrique asymptotique diverge. Sur différents exemples numériques, nous avons montré qu'il correspondait au champ de l'optique physique.

2. Prise en compte de la diffraction d'arête

La solution SFG a été étendue à la diffraction d'arête.

Dans le cas des approches SFG reposant sur une décomposition initiale du champ, il faut calculer le devenir de chaque faisceau incident sur une arête, celui-ci pouvant se scinder en trois contributions (directe, réfléchi et diffracté) qu'il faut alors à nouveau décomposer en faisceaux gaussiens si on veut poursuivre le calcul de la propagation suivant les mêmes règles. Une telle re-décomposition n'a été jusqu'à présent formalisée que pour des configurations très simples (cf. par exemple les travaux de Katsav et Heyman [4]).

Dans le cas de notre approche, la diffraction est prise en compte lors de la normalisation des faisceaux à condition que le champ final d'identification comprenne le champ diffracté. Ce dernier est fourni par la théorie uniforme de la diffraction (UTD) formulée par Kouyoumjian et Pathak [5]. Comme la SFG comprend déjà une part de diffraction (concentrée au voisinage des frontières d'ombre), il a fallu s'arranger pour que celle-ci ne soit pas comptée deux fois ce qui a nécessité de trouver une expression analytique de cette part de la diffraction. Pour cela, nous avons résolu asymptotiquement l'intégrale SFG en y introduisant une borne finie. En effet l'arête sépare une ouverture (zone de passage des trajets) et une surface (zone de réflexion des trajets), et ainsi « tronque » la somme des faisceaux incidents ou réfléchis. Nous avons trouvé que le champ SFG « tronqué » vaut approximativement :

$$\underline{u}_{\text{tronqué}}^{\text{SFG}} \approx \underline{u}^{\text{GO}} \frac{1}{2} [1 \pm \text{erf}(\sqrt{\omega} \cdot d)]$$

Où :

- $\underline{u}^{\text{GO}}$ est champ géométrique qui serait observé sans l'arête.
- Le signe + concerne la région illuminée et le signe – la zone d'ombre géométrique.
- d est un nombre complexe lié à la distance entre le point selle de l'intégrale et l'arête.
- $\frac{1}{2} [1 \pm \text{erf}(\sqrt{\omega} \cdot d)]$ décrit la transition entre la zone d'ombre (0) et la zone illuminée (1), erf désignant la fonction erreur.

Les trajets diffractés sont émis dans le cône de Keller depuis chaque point échantillonnant l'arête. Celle-ci peut être courbe et le front d'onde incident quelconque (sauf de courbure infinie). Nous avons alors formulé un coefficient dyadique de diffraction complémentaire qui permet de compléter la diffraction déjà incluse dans la SFG pour atteindre la diffraction complète décrite par la théorie UTD. Il est égal au coefficient UTD diminué d'un coefficient représentant la diffraction déjà incluse dans la SFG. Ce dernier a été formulé à l'aide d'approximations paraxiales à partir de l'expression de $\underline{u}_{\text{tronqué}}^{\text{SFG}}$ indiquée plus haut. Les approximations sont justifiées par le fait que cette contribution n'est significative qu'au voisinage des frontières d'ombre géométriques. Le champ complémentaire est continu et s'annule sur les frontières d'ombre. Notre modèle le calcule également par SFG.

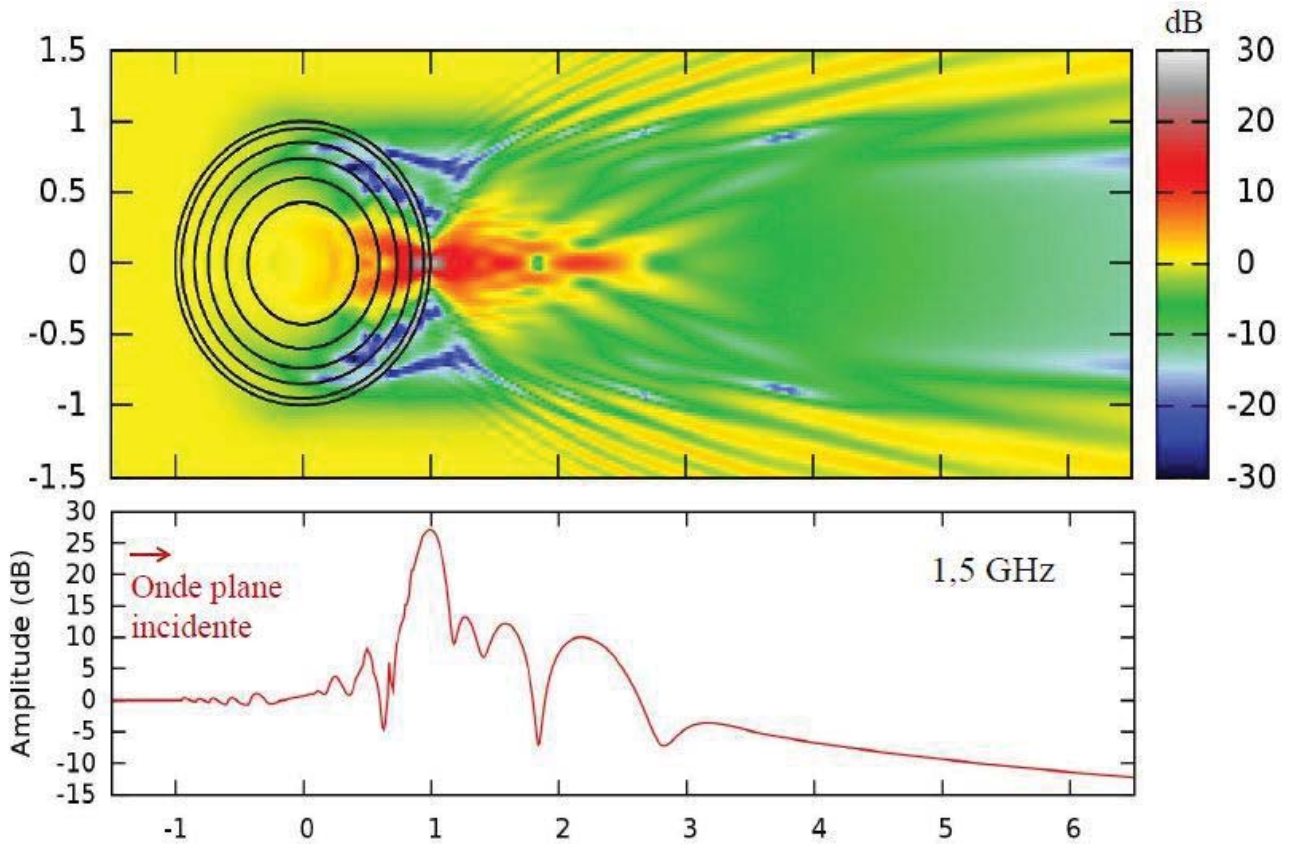
Applications réalisées

Nous avons effectué des simulations sur différents types objets. Des validations ont été faites par comparaison avec l'optique physique (résultats analytiques ou simulations effectuées par la DGA Maîtrise de l'information, ex CELAR, avec son code SERMAIL). Nous montrons ci-après quelques exemples d'application.

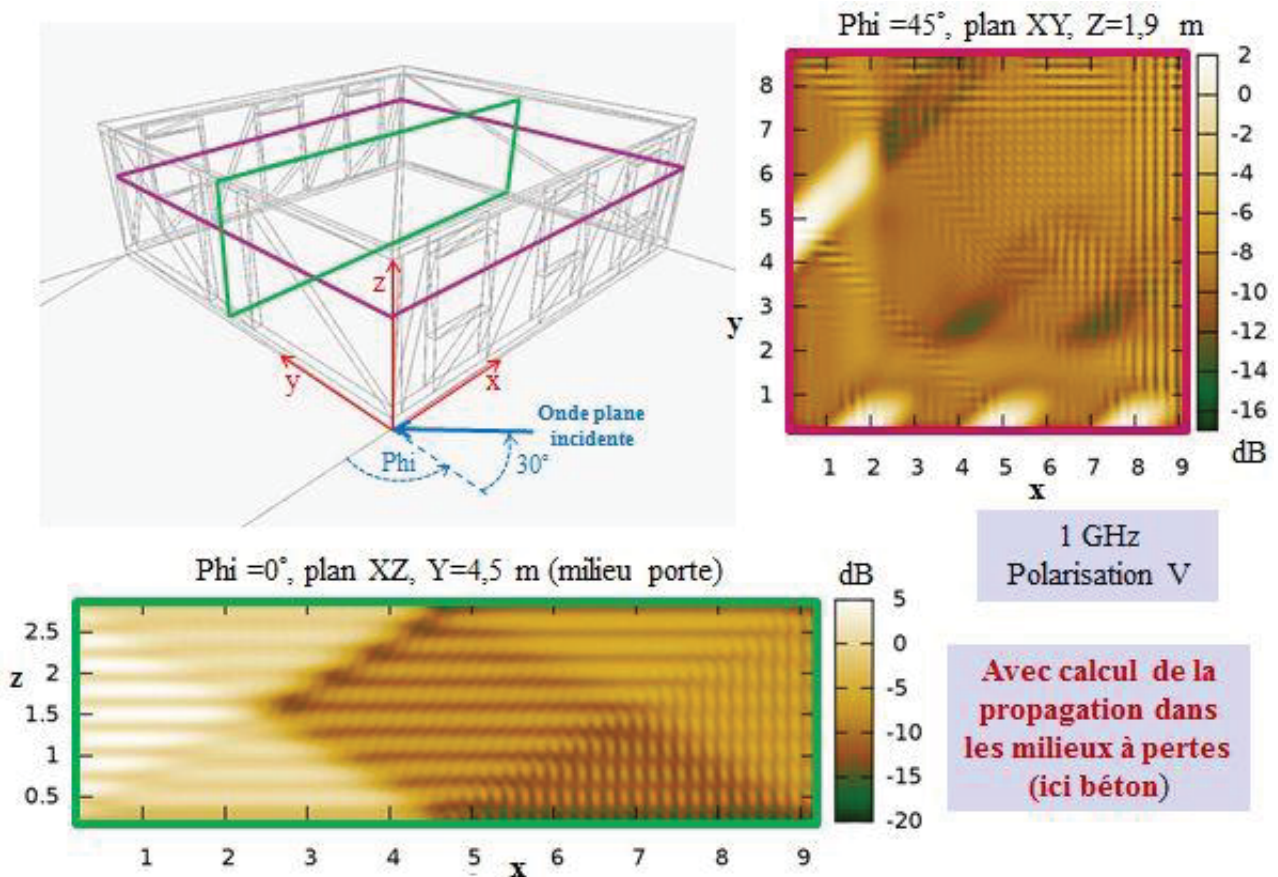
Références bibliographiques (extrait)

1. Ghannoum I. (2010). " Etudes d'outils de calcul de propagation Radar en milieu complexe (milieu urbain, présence de multi-trajets...) par des techniques de lancer de Faisceaux Gaussiens ". Thèse (directrice Christine Letrou), Télécom & Management SudParis-Université Pierre et Marie Curie, 132 pages.
2. Popov M. M. (1982). "A new method of computation of waves fields using gaussian beams". Wave Motion, 4, pp. 85-97.
3. Cerveny V., Popov M. M., Psencik I. (1982). "Computation of wave fields in inhomogeneous media, Gaussian beam approach". Geophys. J. Roy. astr. Soc. , vol 70, pp. 109-128.
4. Katsav M., Heyman E. (2009). "Gaussian Beam Summation Representation of Half Plane Diffraction: a Full 3D Formulation ". IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 57(4), pp 1081-1094.
5. Kouyoujian R.G., Pathak P.H. (1974). "A Uniform Geometrical Theory of Diffraction for an Edge in a Perfectly Conducting Surface ". Proc. IEEE, vol. 62(11), pp 1448-1461.
6. Darras J.M., George T., Pouliguen P. (2012). "Diffraction by a sharp edge for an electromagnetic field described by summation of Gaussian beams : the Umfitsev way". PIERS 2012, Moscow, august 20-23.
7. Celum (2012). Contribution au workshop EM ISAE 2012 pour les cas tests 4 et 6, Toulouse, 20 novembre.

Lentille de Luneburg ($n = \sqrt{2 - r^2}$)

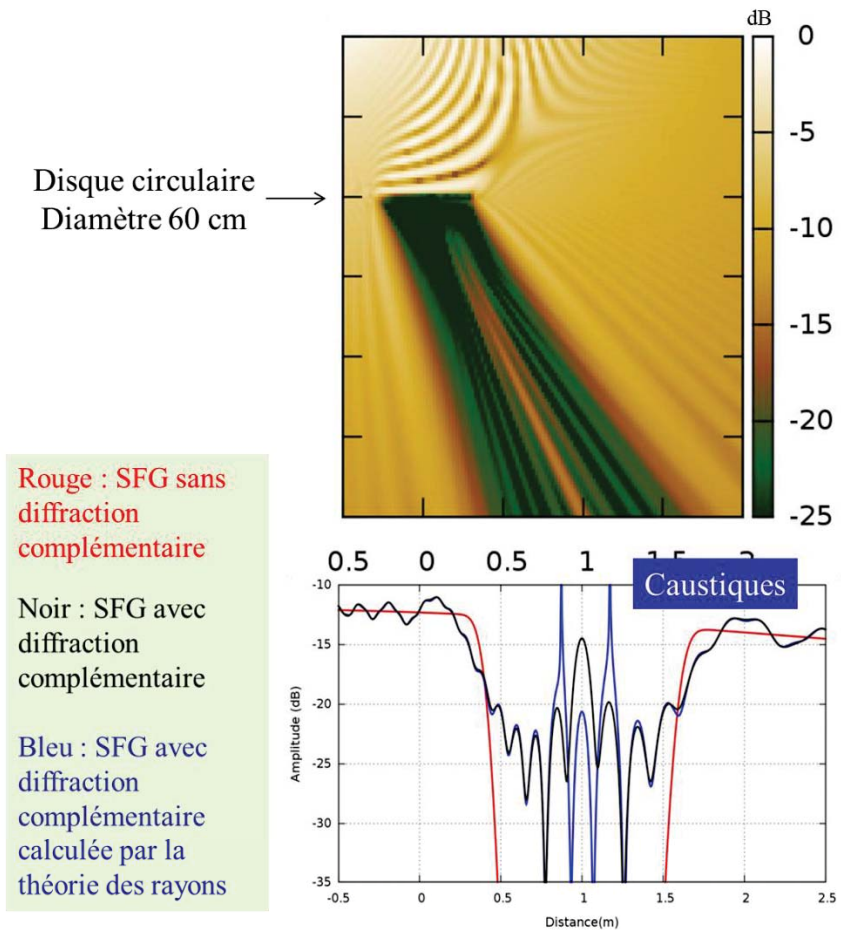


Bâtiments générique du CEA Gramat (murs en béton du rez-de-chaussée)



Disque circulaire (caustique de diffraction)

- Source ponctuelle 10 GHz



Paraboloïde circulaire

