

## Hybridation TUD / Matrice de diffraction pour la modélisation de la propagation indoor.

S. Reynaud<sup>1</sup>, C. Guiffaut<sup>2</sup>, R. Vauzelle<sup>1</sup>, L. Aveneau<sup>1</sup>, A. Reineix<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université de Poitiers, SIC, FRE CNRS 2731, Boulevard Marie et Pierre Curie, 86962 Futuroscope Chasseneuil

<sup>2</sup>Université de Limoges, IRCOM, UMR CNRS 6615, 123 Avenue Albert Thomas, 87000 Limoges

### I. Introduction

De nos jours, un intérêt croissant est porté aux applications large bande telles que les réseaux sans fil (WLANs) car les services multimédia actuels nécessitent des débits de plus en plus importants et donc une plus large bande.

Actuellement, les techniques de tracé de rayons, associées à la Théorie Uniforme de la Diffraction (TUD) [1], sont apparues comme étant les techniques les plus utilisées pour prédire le comportement du canal large bande. En effet, ces méthodes asymptotiques sont rapides et non limitées en fréquence.

Cependant, dans un environnement de propagation indoor, cette démarche de rayons est insuffisante pour modéliser la diffraction par des objets de forme complexe et de petite taille devant la longueur d'onde. Pour de telles structures, les méthodes rigoureuses telles que les Différences Finies dans le Domaine Temporel (DFDT) sont bien adaptées [2].

Dans cet article, nous présentons une méthode hybride, combinant les avantages des méthodes TUD et DFDT. Les techniques de tracé de rayons seront utilisées pour modéliser la propagation dans les pièces, couloirs, bâtiments et objets canoniques grands devant la longueur d'onde. La diffraction par le mobilier de petite taille et de forme complexe sera modélisé par DFDT. La modélisation que nous proposons vise à déterminer le niveau de détail à considérer dans la prise en compte de l'environnement pour avoir une représentation électromagnétique correcte de celui-ci.

### II. Description de la méthode

L'élaboration de la méthode hybride peut se décomposer en trois étapes : on détermine dans un premier temps la matrice de diffraction de l'objet étudié. Ensuite, dans un souci de limitation de l'encombrement mémoire, cette matrice est compressée par la méthode des ondelettes discrètes. Enfin, elle est introduite dans une approche asymptotique comme un coefficient de diffraction généralisé.

#### II.1 Détermination de la matrice de diffraction

Nous illuminons d'abord l'objet par une onde plane. Suivant le principe de Huygens, une première surface de Huygens est disposée autour de la structure : les courants de surface équivalents génèrent un champ incident à l'intérieur de cette surface, dans la région  $\Omega_1$  (figure 1). Après interaction entre l'onde incidente et la structure, le champ calculé dans la région  $\Omega_2$  donne le champ diffracté par la structure. Ainsi, après transformation champ proche/champ lointain et passage dans le domaine fréquentiel, on obtient le champ diffracté en zone de champ lointain (région  $\Omega_3$ ) dans le domaine fréquentiel. La matrice de diffraction finale est obtenue en normalisant par rapport au champ incident en ondes planes calculé au centre de phase de la structure.

De façon à connaître le comportement électromagnétique de l'objet quelle que soit la polarisation de l'onde émise, deux simulations DFDT sont nécessaires (polarisation incidente parallèle et perpendiculaire). Chaque simulation va fournir deux matrices de diffraction (une par composante puisque la diffraction dépolarise l'onde incidente). Au final, quatre matrices de diffraction sont nécessaires pour caractériser complètement une structure. Pour une polarisation incidente donnée, le champ diffracté est obtenu par combinaison linéaire des coefficients de diffraction issus de ces quatre matrices.

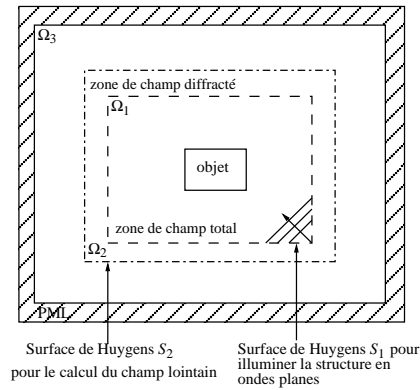


Figure 1 – calcul de la matrice de diffraction

## II.2 Compression de la matrice de diffraction par ondelettes sphériques discrètes

Ces dernières années, les ondelettes sphériques ont été utilisées pour modéliser les FDRB (Fonctions de Distribution de la Réflectance Bidirectionnelle) en synthèse d'images. En effet, il s'avère que ces méthodes permettent de représenter de façon efficace des fonctions sur une sphère  $S^2$  ou une hémisphère  $H^2$ . Dans un souci de limitation de coût mémoire et d'occupation d'espace disque, nous avons décidé d'appliquer cette méthode de compression à nos matrices de diffraction, qui peuvent être vues comme des fonctions de diffraction représentables sur  $S^2$ . La discrétisation de  $S^2$  utilisée est basée sur une subdivision triangulaire d'un octaèdre, régulière en terme d'angle solide.

Une fonction définie sur  $S^2$  est alors estimée par une fonction constante par morceaux sur les triangles de niveau le plus fin. La valeur pour un triangle est celle calculée au centre du triangle par une analyse multi-résolution [3]. Les figures 2.a et 2.b représentent, respectivement sans et avec compression, l'allure de la matrice de diffraction d'un cube métallique de côté  $\frac{\lambda}{3}$  où  $\lambda$  est la longueur d'onde à 2 GHz, pour une illumination de l'objet sous une incidence  $\theta_i = 90^\circ$  et  $\phi_i = 45^\circ$ . Le pas angulaire choisi en terme d'angles d'observation est de  $5^\circ$  en  $\theta_o$  et  $\phi_o$ . Ainsi nous devons représenter 2701 échantillons par angle d'incidence ce qui correspond à un niveau de subdivision de 4.17. Nous avons donc choisi un niveau de subdivision de 4.

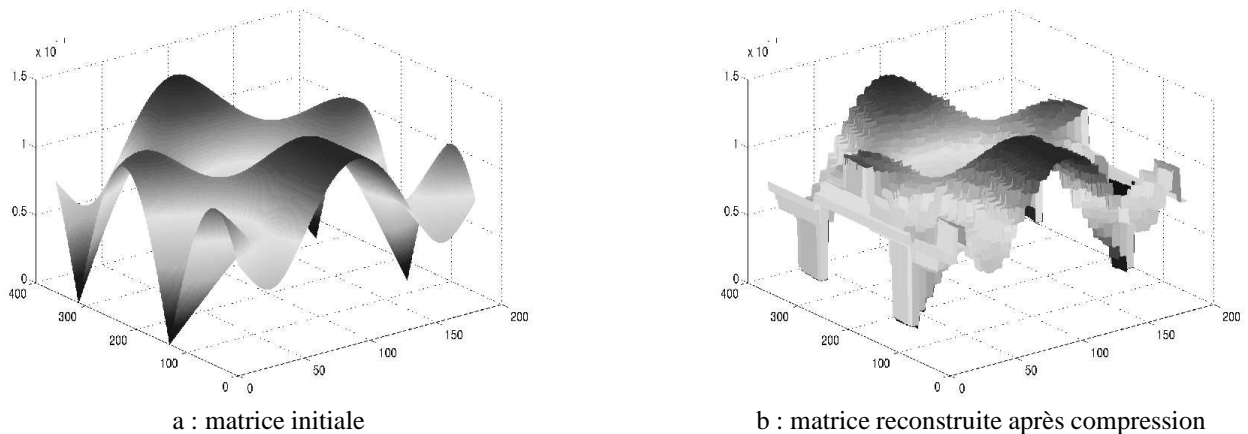
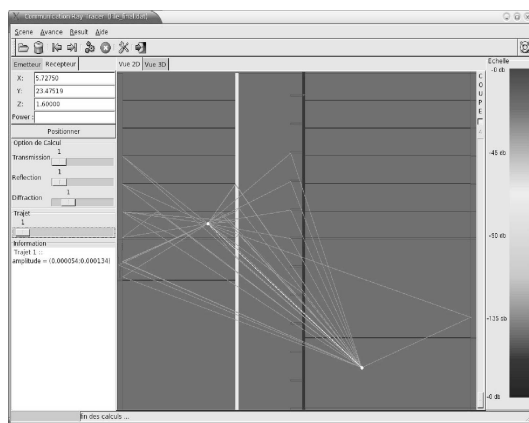


Figure 2 – matrice de diffraction à 2 GHz d'un cube métallique de côté  $\frac{\lambda}{3}$  pour une incidence ( $\theta_i = 90^\circ$ ,  $\phi_i = 45^\circ$ )

## II.3 Intégration dans un code de tracé de rayons 3D

Le code de tracé de rayons utilisé [1] permet de modéliser le canal de propagation dans divers environnements et notamment pour des environnements indoor (Fig. 3). La technique du tracé de rayons 3D est basée sur l'Optique Géométrique associée à la TUD. Elle permet de modéliser efficacement le canal de propagation sur une large bande de fréquence. Dans le code de tracé de rayons utilisé, les objets diffractants d'une scène tels que les dièdres constituent une classe d'objets.

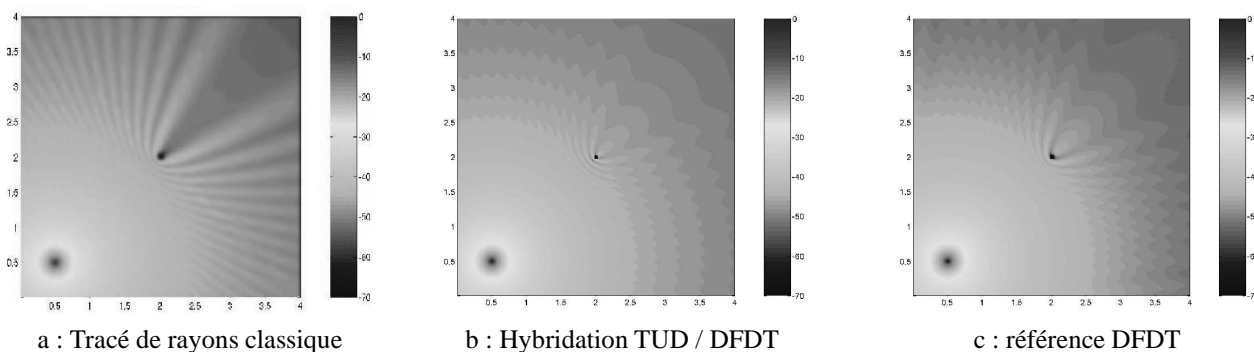


**Figure 3 – modélisation d’une propagation indoor**

L’idée est de créer une nouvelle classe d’objets diffractants modélisés par leur matrice de diffraction. Dans le code de tracé de rayons, ces objets sont assimilés à un point de diffraction, représenté par le centre de phase de l’objet. On construit une boîte englobante à l’objet et si un rayon vient intercepter cette boîte, on récupère la valeur du coefficient de diffraction de la structure dans la direction voulue.

### III. Résultats

Des premiers résultats de zones de couverture sont maintenant présentés. Nous considérons un environnement indoor de  $4 \times 4 \times 2.5$  m. La fréquence d’étude est de 2 GHz, l’émetteur est placé suffisamment loin de la structure de façon à respecter les conditions de propagation en champ lointain. Nous avons choisi de modéliser le comportement électromagnétique d’un cube métallique de côté  $\frac{\lambda}{3}$ . Dans le but de prendre en compte uniquement l’effet de la structure sur l’onde propagée, nous avons disposé des couches absorbantes PML (couches parfaitement adaptées) sur chaque frontière du volume de calcul. Nous avons réalisé les mêmes simulations avec le tracé de rayons classique (en paramétrant une réflexion et une diffraction), la méthode hybride TUD / Matrice de diffraction et la méthode rigoureuse DFDT (figure 4).



**Figure 4 – simulation d’une propagation indoor à 2 GHz en présence d’un cube métallique de côté  $\frac{\lambda}{3}$**

Les résultats obtenus par les techniques de tracé de rayons classique (figure 4.a) fournissent une représentation électromagnétique de la pièce moins conforme à la méthode de référence DFDT (figure 4.c) que la méthode hybride TUD/Matrice de diffraction (figure 4.b), notamment en zone d’ombre de l’objet : les rayons rampants n’étant pas pris en compte dans les techniques de tracé de rayons, la représentation du champ en zone d’ombre est erronée.

Toutefois, il faut souligner que même si les résultats obtenus par la méthode hybride sont plus conformes à ceux de la référence, la méthode a son domaine de validité, puisqu’elle n’est correcte que pour des conditions de propagation en champ lointain. Une étude paramétrique en 2D [4] a montré que ces limites dépendent à la fois de la fréquence d’étude, de la forme et du matériau des objets. Une autre étude est en cours pour déterminer précisément ces limites en 3D.

Une deuxième problématique est de pouvoir déterminer le niveau de détail à considérer dans la prise en compte de “petits objets” (de taille de l’ordre de la longueur d’onde  $\lambda$ ) et/ou de formes complexes. Pour cela, nous avons effectué

des simulations aux fréquences de 2 GHz, 2.4 GHz et 5 GHz dans une pièce cubique de  $4 * 4 * 2.5 m$ , sans objet puis avec des structures. Les structures considérées sont un cube métallique de côté 2 cm (soit  $\frac{\lambda}{3}$  à 5 GHz,  $\sim \frac{\lambda}{6}$  à 2.4 GHz et  $\sim \frac{\lambda}{7}$  à 2 GHz), un cube diélectrique de mêmes dimensions et un cube métallique de côté 12 cm (soit  $2\lambda$  à 5 GHz,  $\sim \lambda$  à 2.4 GHz et  $< \lambda$  à 2 GHz). Nous avons considéré la propagation d'une onde d'incidence  $\theta_i = 90^\circ$ ,  $\phi_i = 45^\circ$  en prenant successivement deux positions pour la source (la première à environ 2 m du centre de phase de l'objet, la seconde à environ 70 cm). Le tableau 1 représente les erreurs de représentation électromagnétique de la pièce liées à la non prise en compte des objets dans la simulation de la propagation. Les deux erreurs calculées sont l'erreur relative et l'erreur au sens des moindres carrés définies par :

$$E_{L_1} = \frac{1}{n} \sum_i \frac{|f'_i - f_i|}{f_i}$$

$$E_{L_2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i \frac{(f'_i - f_i)^2}{f_i^2}}$$

structure	f (GHz)	Emetteur 1		Emetteur 2	
		L <sub>1</sub> (%)	L <sub>2</sub> (%)	L <sub>1</sub> (%)	L <sub>2</sub> (%)
cube diélectrique (2 cm)	2	0.6	0.99	1.01	1.32
	2.4	0.37	0.65	0.63	0.88
cube métallique (2 cm)	2	1.63	2.87	2.81	4.13
	2.4	0.89	1.61	1.51	2.18
cube métallique (12 cm)	2	4.39	8.44	7.48	11.22
	2.4	4.92	10.88	8.39	14.98
	5	6.43	13.16	11.12	19.10

**Tableau 1 - erreurs relatives au sens  $L_1$  et  $L_2$  dues à la non prise en compte de structures diffractantes dans la modélisation de la propagation**

Pour les deux structures de forme identique et de côté 2 cm, les erreurs au sens  $L_1$  et  $L_2$  sont moins importantes pour la structure diélectrique : cela peut s'expliquer du fait que la structure diélectrique diffracte moins l'onde que la structure métallique. Par ailleurs, ces erreurs diminuent avec la fréquence. L'onde est effectivement plus atténuée aux plus hautes fréquences et donc l'erreur due à la non prise en compte de l'objet est moins importante.

En revanche, pour le cube métallique de côté 12 cm, l'évolution de l'erreur croît avec la fréquence : contrairement au cube de 2 cm, pour lequel le diamètre du premier ellipsoïde de Fresnel ( $D_F = \sqrt{\lambda \frac{D_1 D_2}{D_1 + D_2}}$  avec  $D_1$  la distance émetteur - objet et  $D_2$  la distance objet - récepteur) reste supérieur à la longueur caractéristique de l'objet quelle que soit la fréquence et la distance d'observation (pour chaque position d'émetteur), le cube de 12 cm présente une longueur caractéristique supérieure à  $D_F$ , aux fréquences considérées, dans certaines configurations émetteur - objet - récepteur. Cela introduit des perturbations de l'onde, augmentant avec la fréquence. De plus, l'influence de la position de la source par rapport à l'objet intervient aussi significativement sur la perturbation électromagnétique engendrée par l'interaction onde structure.

#### IV. Conclusion

Les premières conclusions établies quant à l'influence de la prise en compte d'objets complexes et/ou petits devant la longueur d'onde sont le fruit de premiers résultats obtenus. Une étude paramétrique 3D portant sur la forme, la nature, la taille ... des objets et les caractéristiques de l'onde (fréquence, polarisation ...) est en cours de façon à étoffer ces premières constatations. A plus long terme, cette étude vise à estimer le niveau de détail à considérer dans la prise en compte du mobilier pour avoir une bonne cartographie électromagnétique de la scène étudiée. Le but final est de tester l'influence d'une telle modélisation sur la qualité de la transmission pour des applications large bande telles que les réseaux sans fil.

#### Références

- [1] F. Escarieu, Y. Pousset, R. Vauzelle, L. Aveneau, *Outdoor and indoor channel characterization by a 3d simulation software*, IEEE PIRMC'2001, San Diego, Oct.2001.
- [2] A. Taflov, *Computational electrodynamics, The finite difference time domain method*, Artech House, Inc., 1995.
- [3] L. Claustres, M. Paulin, Y. Boucher, *BRDF Measurement Modelling Using Wavelets For Efficient Path Tracing*, SIGGRAPH 2003, Computer Graphics, 2003.
- [4] S. Reynaud, C. Guiffaut, A. Reineix, R. Vauzelle, *Modeling indoor propagation using an indirect hybrid method combining the UTD and the FDTD methods*, European Conference on Wireless Technologies, Amsterdam, Oct. 2004.