

# Utilisation de l'UTD pour des problèmes de couplage externe et interne sur une structure quelconque<sup>1</sup>

J.P. Adam<sup>[1]</sup>, Y. Béniguel<sup>[1]</sup>, B. Pecqueux<sup>[2]</sup>, J-C Joly<sup>[2]</sup>, A. Reineix<sup>[3]</sup>

[1] IEEA - 13, Promenade Paul Doumer, 92400 Courbevoie

[2] DGA / CEG, 46500 Gramat

[3] XLIM - UMR CNRS 6172 - Département « O.S.A. » - Faculté des Sciences et Techniques, Limoges

**Résumé :** La technique UTD (Uniform Theory of Diffraction) est une technique éprouvée pour les calculs de diffraction par une structure en haute fréquence. Elle s'applique particulièrement bien aux calculs externes et en particulier à celui de la SER.

On se propose ici d'illustrer les capacités de cette technique pour 2 problèmes particuliers :

- Le couplage d'antennes sur porteur
- Le calcul des champs diffractés à l'intérieur d'une structure

## I. COUPLAGE D'ANTENNES SUR PORTEUR

Le couplage entre antennes sur porteur est celui où les antennes d'émission et de réception sont directement placées sur la surface d'un porteur. Il pourra s'agir par exemple d'antennes conformes sur une structure. Contrairement au cas d'une diffraction par une surface courbe, la courbe géodésique suivie par le rayon rampant est plus aisée à trouver, étant donné que les points d'attachement et de détachements sont déjà connus. La difficulté de ce problème est liée au calcul du coefficient d'initialisation du rayon rampant qui va créer le couplage entre antennes. Dans un certain nombre de cas ce rampant constitue le terme de

couplage essentiel. Son calcul nécessite des développements particuliers.

Le chemin de la géodésique est décrit par l'équation ci-dessous dans laquelle les coefficients  $\Gamma$  sont les coefficients de Christoffel, les indices  $u$  et  $v$  correspondent respectivement aux variables  $u$  et  $v$ . Pour une géométrie arbitraire, cette équation est résolue numériquement en utilisant par exemple un algorithme de Runge Kutta. La Figure 1 présente une solution de cette équation.

$$\frac{d^2v}{du^2} = \Gamma_{22}^1 \left(\frac{dv}{du}\right)^3 + (2\Gamma_{12}^1 - \Gamma_{22}^2) \left(\frac{dv}{du}\right)^2 + (\Gamma_{11}^1 - 2\Gamma_{12}^2) \left(\frac{dv}{du}\right) - \Gamma_{11}^2$$

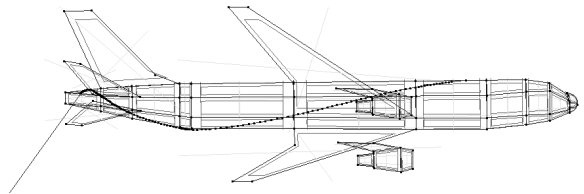


Figure 1 : rayons rampants sur le fuselage d'un porteur

Ce cas amène la question de la représentation de la géométrie du porteur. En effet, les structures maillées à l'aide de facettes présentent des avantages : largement utilisées par d'autres méthodes (MoM) elles sont faciles à trouver, de plus la recherche de rayons sur des facettes planes est très rapide.

<sup>1</sup> Etude effectuée sous contrat DGA / CEG

Cependant, l'information sur la courbure de la surface est perdue et il est difficile de la reconstruire. Par ailleurs, les arêtes introduites par le maillage peuvent être à l'origine de nombreuses diffractions supplémentaires. Enfin, une structure maillée n'est pas adaptée à la recherche d'un rayon rampant.

La figure 2 présente les résultats d'un même cas traité par deux logiciels : l'un utilisant un maillage, l'autre utilisant des surfaces NURBS. Enfin, la méthode est des moments est utilisée pour valider les résultats.

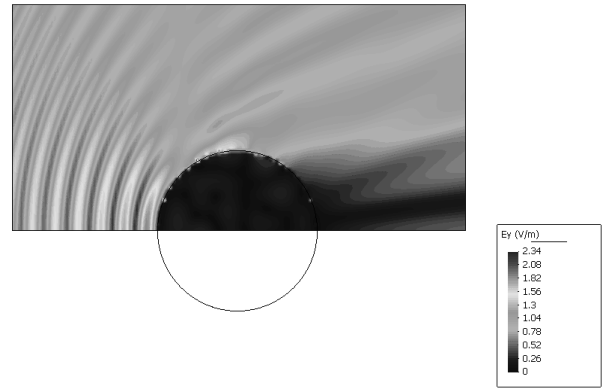
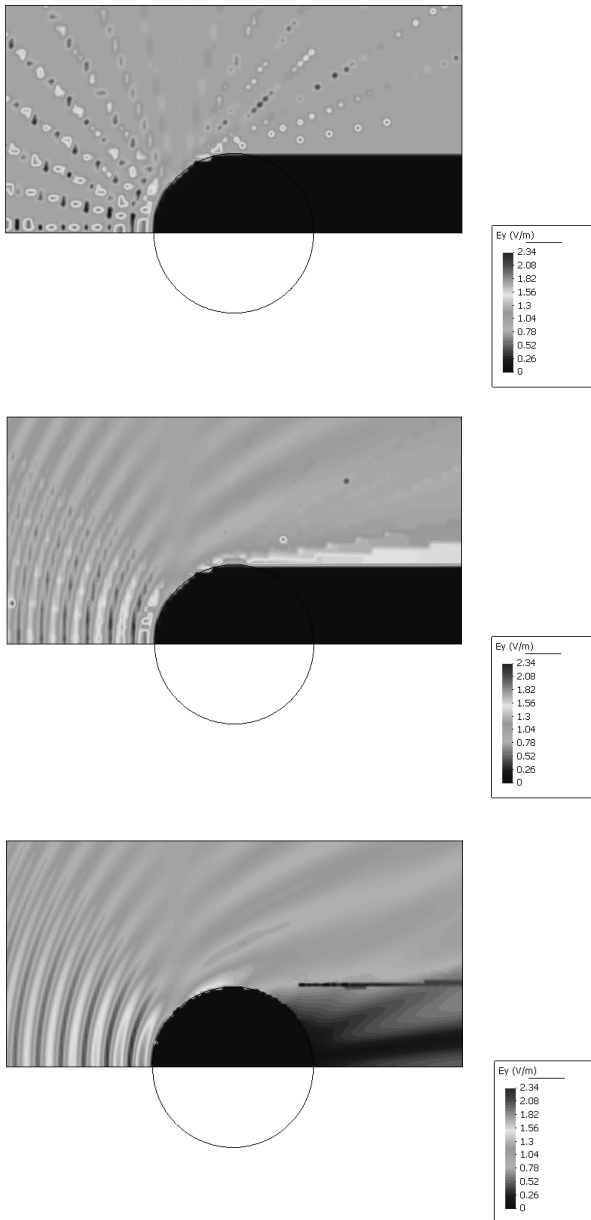


Figure 2 : Diffraction d'une onde plane par un cylindre. Le champ incident est dans le plan d'observation. On observe le module de la composante parallèle au champ incident. Du haut vers le bas : réflexion sur maillage, réflexion et diffraction sur maillage, réflexion et rampant sur nurbs, méthode des moments.

On observe que la diffraction par les arêtes fictives est nécessaire pour obtenir une bonne continuité des figures de diffraction. Cependant, l'absence de rayons rampants est à l'origine d'un champ nul dans la zone d'ombre.

## II. CHAMPS DIFFRACTES A L'INTERIEUR D'UNE STRUCTURE

On considère le cas du calcul des champs induits à l'intérieur d'une structure, la transmission de l'extérieur vers l'intérieur s'effectuant à travers les ouvertures de celle-ci. S'agissant d'une cavité le cas échéant résonnante, il est nécessaire de considérer un nombre suffisant de rayons pour mettre en évidence les problèmes de résonance de cavité.

Afin d'estimer le nombre de rayons nécessaires pour décrire correctement le champ qui s'établi dans une cavité, nous étudions un problème bidimensionnel de type ligne de Leicher. La figure 3 présente la technique des images mise en œuvre pour évaluer le rayonnement d'une source placée

entre les deux plans infinis. La source est choisie et disposée de telle sorte qu'elle va exciter le mode fondamental de la structure. On peut alors comparer le résultat obtenu avec le résultat analytique. La figure 4 montre cette comparaison. La figure 5 montre qu'un grand nombre de réflexions est nécessaire pour décrire correctement le comportement de la source confinée à l'intérieur de la structure. Dans le cas considéré, ce nombre est de 75, ce qui est considérable.

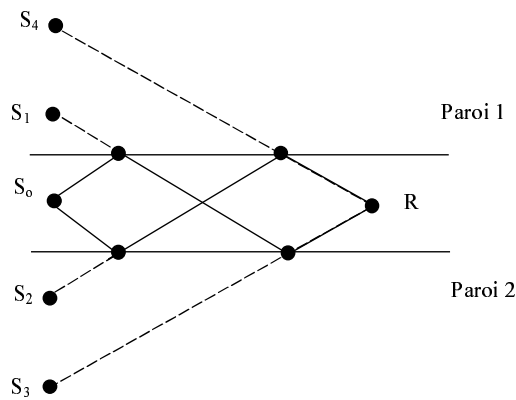


Figure 3 : comportement de rayons issus de plusieurs réflexions

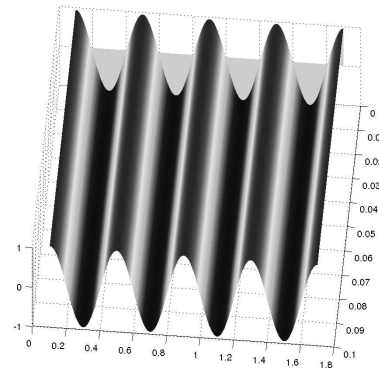
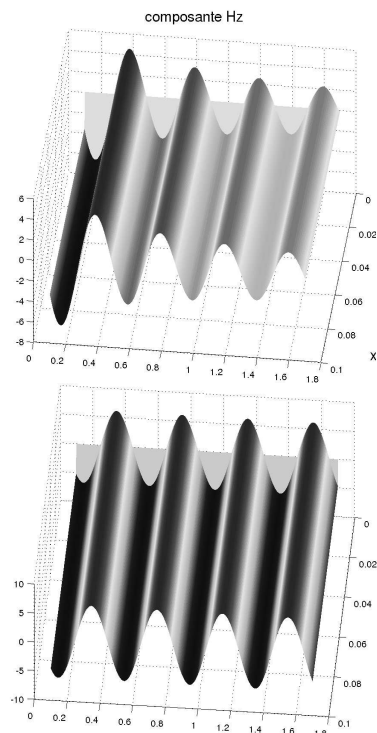


Figure 4 : Champ entre les deux plaques : avec 1 seule réflexion, 500 réflexions et résultat analytique. Les résultats ne sont pas normalisés.

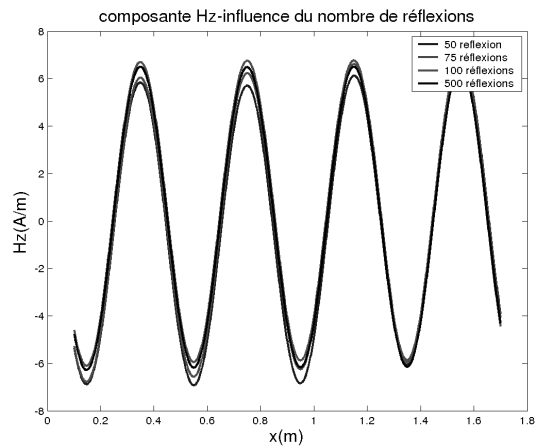
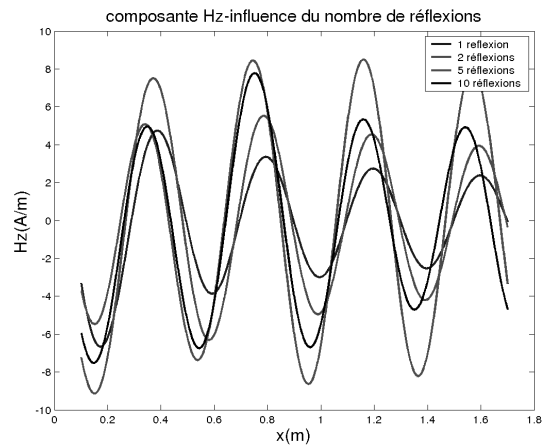


Figure 5 : champ à l'intérieur du guide en fonction du nombre de réflexions.

L'un des problèmes sous jacents à l'emploi de l'UTD est celui de la recherche des rayons. Il y a deux façons de procéder : soit par recherche de rayons soit par lancer de rayons.

La recherche de rayons consiste, sachant une direction d'incidence et une direction d'observation données, à rechercher les points satisfaisant aux relations d'optique s'appliquant aux points correspondants sur la structure. La position de ces points de diffraction et les propriétés géométriques de la surface en ces points sont ainsi déterminées de façon très précise. Cette technique convient bien pour un problème externe qui ne nécessite pas la prise en compte d'un grand nombre de réflexions.

Le lancer de rayons par opposition consiste à lancer en aveugle un certain nombre de rayons avec un pas angulaire suffisamment fin afin de reconstituer le champ diffracté dans tout l'espace. Cette technique est plus adaptée pour un problème interne. En effet, comme on l'a vu précédemment, le nombre de réflexions mises en jeu pour représenter convenablement le champ s'établissant dans une cavité peut être très important. Par ailleurs, dans le cas d'une cavité pour laquelle on connaît les modes qui peuvent s'y établir, il est possible de représenter le champ électromagnétique par un nombre fini d'ondes incidentes. Autrement dit, il n'est pas nécessaire de lancer les rayons dans tout l'espace. En effet, dans le cas considéré précédemment, le mode fondamental peut être considéré comme une onde plane avec une longueur d'onde modifiée.

L'application de l'UTD à l'intérieur d'une structure fermée peut apparaître rédhibitoire. Cependant, cette méthode est efficace à l'extérieur de la structure, d'où l'idée de la coupler avec une autre technique mieux adaptée à un problème interne. On se propose ici d'utiliser un code basé sur les différences finies dans le domaine temporel. Il s'agit de l'outil GORF3D du CEG.

L'extérieur de la structure est traité par le code Maude du CEG appliquant l'UTD dans le domaine temporel sur une structure maillée à l'aide de facettes planes.

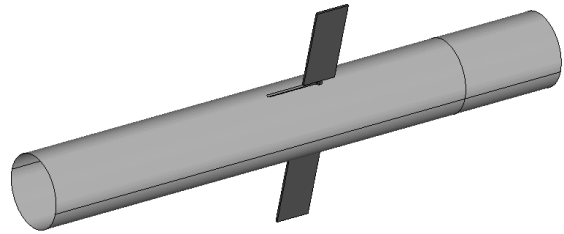
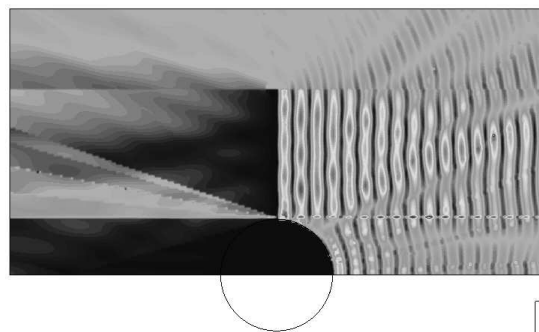


Figure 6 : géométrie du GENEC. L'ouverture principale est l'entrée du cylindre (gauche). La fente à la base de l'aile est aussi une ouverture.

La figure 6 montre la géométrie de la structure qui sera utilisée pour valider cette démarche. Il s'agit de la structure d'un petit missile générique d'environ 1 mètre de long. Le spectre de l'onde incidente est compris entre 500MHz et 30GHz, ce qui justifie l'utilisation d'une technique asymptotique dans ce cas.

La figure 7 montre des résultats de la première étape de l'hybridation. On observe des discontinuités au niveau des zones de transition dans le premier cas. En effet, le code utilisé pour obtenir ce résultat ne traite ni la diffraction par les coins, ni les ondes rampantes. L'étape suivante consiste à récupérer les champs électromagnétiques au niveau des ouvertures et à les injecter dans le code GORF3D afin de simuler l'intérieur du GENEC.



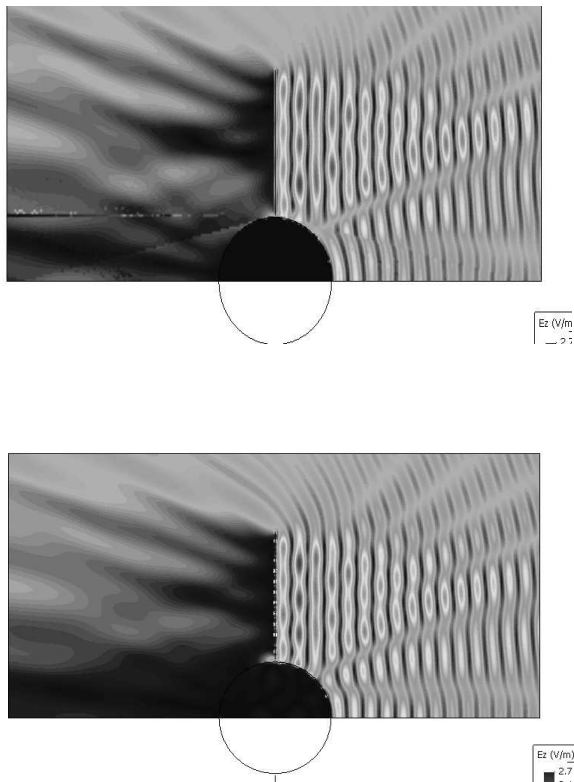


Figure 7 : Diffraction d'une onde plane par le GENEC. Le champ incident est dans le plan d'observation. Il s'agit d'une sinusoïde à 10GHz. On observe le module de la composante parallèle au champ incident. Du haut vers le bas : UTD sur maillage, UTD sur nurbs, méthode des moments.

### III OPTIMISATION DE L'EMPLACEMENT D'ANTENNES SUR STRUCTURES

Les rayons étant déterminés, Les coefficients de l'UTD permettent le calcul du champ électrique. Ces valeurs sont importantes en particulier pour optimiser l'emplacement d'une antenne sur un porteur.

Comme le temps calcul associé à cette technique est très faible, il est possible de conduire beaucoup d'itérations, chacune d'elles pour un emplacement donné, en peu de temps.

Ceci rend la technique très adaptée pour conduire des optimisations. Pour ce type de problème, la donnée d'entrée est la position de l'antenne. La fonction de coût est la différence entre le diagramme de rayonnement de l'antenne en espace libre et celui obtenu en présence du porteur. Le but est par conséquent de minimiser l'influence du porteur sur l'antenne. Une autre classe de problèmes est celle pour laquelle on voudra minimiser le couplage entre deux antennes.

Ceci a été mis en œuvre en utilisant des algorithmes génétiques comme technique d'optimisation. Cette procédure est particulièrement bien adaptée quand on dispose de peu d'informations sur la fonction coût. De plus cette fonction peut avoir des minima locaux. Les algorithmes génétiques permettent de gérer cette situation.

### IV CONCLUSION

L'UTD permet de simuler convenablement le couplage externe, à condition de modéliser correctement les surfaces courbes (courbure et diffraction par onde rampante) et de prendre en compte des contributions telles que les coins. Couplée avec des techniques d'optimisation, elle constitue par ailleurs un outil très utile pour la minimisation de l'influence du porteur sur le diagramme des antennes placées sur celui-ci.

En ce qui concerne le couplage interne, le grand nombre d'interactions nécessaires annule les avantages de l'UTD (rapidité d'exécution). Cependant, l'hybridation avec une autre technique permet de contourner cet obstacle.