

# Résolution de problèmes de compatibilité électromagnétique par des méthodes temporelles 3D

Alain REINEIX, XLIM, Faculté des Sciences et Techniques, LIMOGES

Christophe GUIFFAUT, XLIM, Faculté des Sciences et Techniques, LIMOGES

La compatibilité électromagnétique concerne l'étude de la cohabitation des systèmes électroniques et de perturbateurs électromagnétiques intentionnels ou non. Compte tenu de l'essor exponentiel du nombre de systèmes électroniques embarqués appelés à évoluer dans un environnement de plus en plus pollué par des rayonnements électromagnétiques, les problèmes de CEM sont de plus en plus cruciaux. Dans le domaine automobile par exemple, la sécurité des usagers passe par des contraintes draconiennes sur le fonctionnement correct des systèmes électroniques en présence de parasites.

L'origine des parasites peut être diverse ; en CEM, on se trouve souvent confronté au problème de perturbateurs large bande tels le champ généré par un canal foudre, les décharges électrostatiques, les décharges de manœuvre qui accompagnent la mise en service ou hors service de dispositifs. L'étude du couplage des champs électromagnétiques rayonnés avec des systèmes électroniques passe souvent par la simulation théorique qui est plus économique qu'une expérimentation lourde de mise en œuvre. Compte tenu de la complexité des systèmes, les approches tridimensionnelles sont de bons candidats pour ce type de problème. Aussi, l'objectif de cet article est de présenter comment il est possible d'adapter certaines approches transitoires pour permettre de répondre à des problèmes de CEM qui sont de plus en plus complexes. Nous nous focaliserons sur des points particuliers compte tenu de la diversité des problèmes dans le domaine.

## 1. Couplage onde / structure : mise en œuvre de techniques de sous-maillage pour traiter les problèmes multiéchelles

Pour illustrer le problème, nous citerons le domaine automobile où l'on assiste à une explosion du nombre de fonctions électroniques devant être réalisées. L'étude du couplage d'une onde parasite externe sur un véhicule est un problème complexe. En effet, si on s'intéresse au cheminement d'un parasite, se produit tout d'abord le couplage avec la structure composant le véhicule qui s'étudie généralement par des approches 3D de type différences finies ou éléments finis, puis les parasites suivent les chemins des câbles pour aller agresser les cartes électroniques puis les composants d'extrémité en pénétrant dans les boîtiers. Nous voyons donc l'aspect fortement multiéchelles du problème pour lequel la représentation du modèle de certains paramètres n'est pas à négliger pour avoir une évaluation des niveaux de courants induits.

Un premier verrou qui apparaît est donc le problème de la capacité d'une méthode à représenter des structures complexes avec différents niveaux de détails. Pour ce faire, si nous considérons une technique différences finies dans le domaine temporel, un de ses avantages est sa capacité à traiter des grosses structures du fait de sa souplesse et de sa capacité à s'adapter aux ordinateurs actuels qu'ils soient vectoriels ou parallèles. Malheureusement, les mailles doivent rester, dans la mesure du possible, constantes dans chaque direction, ce qui permet difficilement la représentation de détails locaux. Aussi pour répondre à ce problème, des techniques de sous-maillage ont été mises en place. Depuis une quinzaine d'années de nombreuses publications proposent des solutions notamment grâce au raccordement de deux volumes de calcul à pas spatial dans un rapport entier. La connexion entre les champs situés de part et d'autre de la frontière entre les deux volumes est généralement traitée à l'aide de techniques d'interpolation. Nous avons mis en évidence le fait qu'aucune des approches proposées ne donnait de résultats satisfaisants sur un nombre d'itérations importants. De plus, même si les signaux semblent revenir à zéro, une accumulation d'énergie dans les zones de sous-maillage finit par faire redémarrer les niveaux de signal et provoque une divergence. De nouvelles techniques ont récemment vu le jour soit à travers la réduction d'ordre, l'utilisation de surfaces d'échange de type Huygens et des méthodes de conservation d'énergie. Ces dernières semblent prometteuses puisqu'elles donnent d'excellents résultats en 2D sur des temps longs.

## 2. Étude du couplage d'une onde rayonnée par un canal foudre : le modèle du canal et les problèmes de couplage Basse Fréquence

Le couplage d'une onde rayonnée par un coup de foudre indirect est un problème intéressant puisque plusieurs problèmes se posent lors de la modélisation de ces phénomènes. Trois points seront plus particulièrement évoqués pour une implémentation du problème foudre dans un code de type FDTD.

### Le modèle du canal foudre dû à un éclair nuage / sol

Le canal foudre permettant la représentation du phénomène d'arc en retour intervenant lors de la jonction du précurseur descendant au niveau du sol est généralement modélisé par une antenne verticale alimentée par un générateur de courant à sa base. Des modèles analytiques représentant le courant sous forme d'une fonction de Heidler, prenant en compte la vitesse de propagation et la décroissance d'amplitude permettent une bonne représentation du phénomène. Un modèle sous forme de dipôles électriques élémentaires dont la longueur est calibrée en fonction de la distance d'observation est proposé.

### La génération du champ incident dans un code FDTD

On désire ensuite évaluer le champ rayonné par le canal foudre en différents points d'un volume de calcul 3D situé plus ou moins loin du point d'impact. Un modèle de sources de Huygens a été retenu, il s'agit de réaliser un calcul analytique du rayonnement des dipôles constituant le canal en zone proche en chaque point de cette surface. Nous constatons que si l'on désire prendre en considération toute la longueur du canal (soit plus de 2 km) pour observer sur des temps longs, correspondant à la durée du champ incident, le temps de calcul peut s'avérer prohibitif. Aussi, une optimisation par sous échantillonnage puis par interpolation linéaire est proposée pour optimiser le temps de calcul tout en conservant une bonne précision des résultats.

### Les problèmes posés par l'aspect basse fréquence

La troisième étape consiste à faire interagir le champ incident généré par le canal foudre avec un système agressé. Le champ rayonné par la foudre est basse fréquence, aussi, des approches telles la FDTD perdent de leur efficacité notamment pour l'absorption des champs diffractés à la périphérie du volume de calcul par des conditions de type PML. Aussi, des alternatives allant de l'amélioration des PML pour la prise en compte de l'absorption des ondes évanescentes jusqu'à la considération de nouveaux schémas de type ADI - FDTD permet de répondre en partie au problème. Une autre approche reposant sur la linéarité des phénomènes consiste à considérer un signal délivré par le canal de durée très courte. Ce signal représenté sous forme d'une gaussienne normalisée large bande peut alors être assimilé à une distribution de Dirac dans la bande du perturbateur. L'interaction avec des structures métalliques donne des réponses de durée très courte, il est alors possible de retrouver la réponse réelle par simple produit de convolution. Une telle technique permet une économie importante en temps de calcul puisque le nombre d'itérations temporelles s'en trouve fortement réduit du fait de la courte durée du signal.

## 3. Représentation d'éléments localisés dans les codes FDTD

La méthode FDTD permet la description d'éléments distribués tels des antennes, des filtres répartis, des lignes de transmission et plus généralement des structures diffractant dont les dimensions vont du dixième de la longueur d'onde jusqu'à dix fois celle-ci. Se pose alors le problème de la prise en compte d'éléments petits devant la longueur d'onde et notamment des circuits localisés. Il s'agit par exemple de :

- circuit placés aux extrémités de câblages,
- composants en extrémité de pistes de cartes électroniques.

Pour ce faire, au fil des années plusieurs modèles ont vu le jour, ils ont été adaptés à la plus ou moins grande complexité des composants à représenter. Plusieurs approches seront présentées.

- La prise en compte d'un élément simple de type R, L ou C dans une maille FDTD ou sur un fil directement dans le code. Une modification des équations permet de rendre compte de la présence de ces éléments simples.

- L'hybridation de la méthode FDTD avec une approche CAO circuit permet de profiter des bibliothèques de composants disponibles. En effet, il n'est pas nécessaire de *réinventer la roue* en voulant réécrire des modèles de composants déjà optimisés dans des outils de CAO. Une telle hybridation est réalisée à chaque pas temporel par un échange du couple tension / courant.
- La description du circuit sous forme d'un macromodèle représenté par une fraction rationnelle. Considérons un filtre passe bas classique, ce dernier peut être représenté dans le domaine de Laplace par une fraction rationnelle possédant des propriétés particulières traduisant la passivité du système. Des méthodes de type *Vecteur Fitting* permettent de retrouver les paramètres d'un tel filtre à partir de données simulées ou de données mesurées. Afin de réaliser l'implémentation d'une fraction rationnelle, une des dernière évolution est la transcription du modèle en utilisant une transformée en  $z$ . En effet, un des avantages est de profiter des développements effectués dans le domaine des filtres récurrents.

En conclusion, cet article met en évidence les manques d'une méthode à formulation rigoureuse seule. Ce qui fait la force de techniques comme la FDTD est sa capacité à représenter des phénomènes physiques sous forme de modèles. Pour ce faire, la FDTD est un bon candidat du fait de sa simplicité et de sa robustesse. Nous avons vu que, en particulier dans le domaine de la CEM, nous pouvions prendre en considération des phénomènes complexes comme le couplage d'un champ généré par un canal foudre, l'aspect multiéchelle par sous-maillage et la modélisation de composants localisés. Toutefois beaucoup de travail reste à faire par exemple dans les modèles de composants qui ne sont pas forcément connus pour les hautes fréquences.

Alain REINEIX – [alain.reineix@xlim.fr](mailto:alain.reineix@xlim.fr)

*XLIM - UMR CNRS 6172, Département " O.S.A. ", Faculté des Sciences et Techniques, 123 avenue Albert Thomas, 87060 LIMOGES Cedex*

Christophe GUIFFAUT – [christophe.guiffaut@xlim.fr](mailto:christophe.guiffaut@xlim.fr)

*XLIM - UMR CNRS 6172, Département " O.S.A. ", Faculté des Sciences et Techniques, 123 avenue Albert Thomas, 87060 LIMOGES Cedex*