

La modélisation d'antenne pour applications spatiales

Thierry KOLECK, CNES

Mots-clés : antennes, modélisation

Introduction

Les systèmes spatiaux trouvent un grand nombre d'applications dans un vaste domaine d'activités : les télécommunications, la localisation et la navigation, l'observation de la Terre, les sciences de l'Univers, ... La diversité de ces applications implique l'utilisation d'une large gamme de concepts d'antennes allant des structures simples (antennes imprimées, hélices, ...) jusqu'aux architectures complexes (antennes actives à rayonnement direct, réseau focal, réflecteur formes, réseau réflecteur, ...). Le développement de telles antennes fait nécessairement appel à des outils de conception basés sur la résolution numérique des problèmes de rayonnement électromagnétique.

Les spécificités des antennes spatiales

De part leurs missions, les contraintes de développement des antennes spatiales sont assez spécifiques. Elles nécessitent une grande maîtrise de conception dans les éléments les constituants. Les performances demandées dépendent des applications, mais sont généralement en limite de l'état de l'art. Des performances de l'antenne dépendent directement les performances de la mission. Le spectre en fréquence utilisé est extrêmement large, allant de la centaine de mégahertz à la centaine de gigahertz. Il en résulte un très grand nombre de concepts d'antennes envisageable pour remplir la mission du satellite. Dans le domaine de télécommunications, les antennes utilisées sont d'une grande complexité. Elles peuvent intégrer des éléments actifs (amplificateurs, filtre adaptatifs, convertisseurs de fréquence) et des structures rayonnantes complexes (réseau d'éléments rayonnants, réflecteur conforme, ...). Les performances demandées sont extrêmement sévères en termes de gain, de polarisation croisée, de niveau de lobes secondaires, ... Outre les antennes radars, l'observation de la Terre nécessite le développement d'antenne de télémétrie capable d'assurer un lien très haut débit pour transmettre les images vers les stations terrestres. Devant l'augmentation des débits nécessaires, ces futures antennes seront basées sur des antennes à pointage électronique. De plus, l'environnement spatial donne des contraintes supplémentaires à l'antenne. Celle-ci devra supporter des gradients thermiques très importants (de -150°C à 200°C), des contraintes mécaniques sévères dues au lancement (chocs, vibrations, acoustiques), tenue aux rayonnements ionisants (vieillesse prématurés des matériaux), résistance aux décharges électrostatiques, ... Ces contraintes sont à intégrer dès la phase d'étude de faisabilité. Les coûts de développement et de fabrication de ces antennes restent très élevés. L'utilisation d'outils de modélisation adaptés et performants permet de réduire au maximum le recours à la réalisation de modèle radioélectrique et d'optimiser les composants de l'antenne. Ces outils de conceptions interviennent à toutes les étapes de développement de l'étude de faisabilité, la conception, la réalisation et même de l'analyse des performances durant la vie du satellite en orbite.

Les besoins en outils de modélisation

Le cycle de développement des antennes spatiales étant de plus en plus court, le besoin en moyens de simulation est très fort d'un point de vue industriel. Cependant, pour des raisons de coûts et de performances, l'utilisation de codes commerciaux se généralise. Depuis quelques années, des logiciels de modélisation électromagnétique ont été commercialisés avec succès. A titre d'exemple, on peut citer HFSS (Ansoft), MicroWave Studio (CST) ou Grasp (Ticra). Ces codes commerciaux sont maintenant très bien implantés chez les industriels développant des antennes spatiales. Ils sont largement utilisés pour les études de sources primaires (cornet, antennes imprimées), les structures guidées (circuits d'alimentation, réseau formateur de faisceau) ou le calcul d'antenne à réflecteur. Ils sont basés sur des techniques numériques éprouvées et validées. Un autre avantage non négligeable est la facilité d'utilisation grâce à des interfaces graphiques performantes et conviviales. Ceci permet un gain de temps considérable lors des phases de pré et post traitements. Cependant, les codes commerciaux ne permettent pas de répondre à tous les besoins industriels. Il reste nécessaire de développer des codes de calcul propres. On remarque que plusieurs types de problèmes requièrent des développements numériques spécifiques :

– Les problèmes de grande taille : Cette catégorie correspond à des problèmes pouvant être théoriquement traités avec les méthodes mises en œuvre dans les codes commerciaux, mais dont les dimensions numériques

interdisent le calcul avec des ressources informatiques disponibles. Le cas typique est le calcul d'interaction antenne/structure.

– Les problèmes spécifiques : Les méthodes d'optimisation utilisées dans les codes commerciaux sont mal adaptées aux problèmes à résoudre (optimisation de sources primaires, de réflecteurs conformés, d'antennes réseaux, ...). L'utilisation d'un code de calcul généraliste ne permet pas une optimisation efficace des paramètres du problème. Le développement de code spécifique au problème traité est alors un passage obligé pour atteindre les performances souhaitées. La complexité des antennes actuelles induit un grand nombre de paramètres à déterminer lors de la conception de l'antenne. L'analyse paramétrique ou l'optimisation passe par l'utilisation de code de modélisation dont le temps de calcul doit être raisonnable. Pour permettre un calcul efficace, deux voies sont envisageables. La première consiste à tenter de réduire le temps de calcul d'une simulation. Pour cela, on peut faire appel à des techniques itératives (Fast Multipole Method par exemple) ou des approches multi-échelles. La seconde consiste à décomposer le problème complet en sous-problèmes qui pourront être calculés indépendamment. La modification d'une partie du problème n'oblige alors pas à effectuer un calcul complet. Des nouvelles méthodes de décomposition de domaines ou de sous-structuration voient le jour et peuvent apporter de réelles solutions aux problèmes industriels. Dans l'avenir, le besoin d'une intégration encore plus forte de composants des antennes (circuits et éléments rayonnants) demanderont des outils de modélisation plus complexes et plus précis. La résolution des problèmes industriels passera par l'hybridation de différentes méthodes. Ces hybridations devront permettre de traiter des problèmes à différentes échelles, des composants au satellite. Un autre point important pour l'utilisation d'un code dans un contexte industriel est lié à la complexité de mise en oeuvre pour un problème donné. Il est nécessaire de développer des interfaces efficaces avec le code de calcul. L'importation de modèles issus de la CAO est une nécessité. Elle permet une interaction rapide avec les équipes traitant les aspects mécaniques et thermiques, étape nécessaire étant donnée les contraintes vues par l'antenne dans son environnement. De plus, la complexité ou la l'indisponibilité d'outils de maillage adapté peut être un frein important à l'intégration de nouveau code dans l'industrie.