

Analyses de sensibilité et recalage de modèles thermiques spatiaux à l'aide d'algorithmes génétiques

A. Capitaine, F. Jouffroy
EADS - Astrium

La conception d'un satellite ou autre sous-système spatial (instrument, équipement...) exige la réalisation d'études thermiques approfondies.

Ces études sont basées sur des modèles mathématiques permettant de prédire, avec le niveau de détail souhaité, le comportement thermique du satellite pour l'ensemble des conditions variées que celui-ci est amené à rencontrer. Ces conditions peuvent être transitoires ou stabilisées, et plus ou moins chaudes ou froides, car fonction de divers éléments, par exemple : environnement extérieur rencontré (période de l'année, orbite et pointage) et flux thermiques associés, dissipations internes, vieillissement des matériaux.

Les modèles mathématiques utilisés, du type 'différences finies', comportent généralement entre 1000 et 5000 nœuds thermiques et demandent, à partir d'une géométrie provenant du bureau d'études, la définition de nombreux paramètres :

- * Propriétés physiques des matériaux mis en oeuvre -absorptivité solaire et émissivité infra-rouge, conductivité thermique, capacité calorifique-
- * Dissipation des équipements et puissances de réchauffage
- * Caractéristiques thermiques spécifiques associées aux configurations d'interface complexes rencontrées. En particulier, conductances d'interface, difficile à évaluer précisément par calcul sans tomber dans un niveau de détail inapproprié, fonction de nombreux paramètres comme par exemple la géométrie ou la pression de serrage du montage.

Pour augmenter le degré de confiance dans le modèle élaboré, il est systématiquement réalisé une étude de sensibilité sur les plages d'incertitudes estimées pour l'ensemble de ces paramètres. Elle permet de calculer par une sommation quadratique pour chaque cas de calcul (chaud, froid...) et pour chaque nœud une incertitude de calcul qui sera ajoutée à la température prédite par le modèle pour obtenir une température garantie.

Le design thermique du système est validé par un test effectué sur le spécimen physique. Le modèle thermique est ensuite recalé par rapport aux résultats (mesures) obtenues lors du test. Ce problème peut-être vu comme un exemple typique d'optimisation de fonctionnelle (écart-mesure), pour lequel on peut utiliser une méthode numérique d'optimisation connue. Les méthodes habituelles de type gradient ou recuit sont difficilement utilisables car elles nécessitent des propriétés mathématiques de fonctionnelles (convexité, dérivabilité) et de proximité de la modélisation initiale (minimum local) et donc des connaissances importantes d'analyse numérique par l'utilisateur. L'amélioration des outils informatiques permet d'envisager aujourd'hui des ré-analyses nombreuses et automatisées avec des tirages aléatoires dans le domaine physique des paramètres incertains. La vitesse de convergence vers la solution peut être améliorée par l'utilisation d'algorithmes génétiques qui apparaissent en effet comme les mieux adaptés au cas à traiter.

Les travaux réalisés montrent l'influence sur la qualité de la convergence de l'algorithme génétique du choix du jeu de paramètres utilisé pour le recalage : ce point est la difficulté majeure à résoudre.