

Invitation à la soutenance de thèse

PROGRAMMATION MATHÉMATIQUE ET HEURISTIQUES POUR L'ALLOCATION DE RESSOURCES DE SATELLITES DE TÉLÉCOMMUNICATION

MATHEMATICAL PROGRAMMING AND HEURISTICS FOR RESOURCES ALLOCATION IN TELECOMMUNICATION SATELLITES

Camille Lescuyer

20 mai 2025, 9h30

**au LAAS-CNRS, Salle de conférence
7 Avenue du Colonel Roche, 31400 TOULOUSE**

Devant le jury composé de :

Andréa Cynthia SANTOS	Université Le Havre, Normandie	Rapportrice
Jin-Kao HAO	Université d'Angers	Rapporteur
Ivana LJUBIC	ESSEC Business School	Examinatrice
Laurent HOUSSIN	Université de Toulouse	Examineur
Nadia BRAUNER	Université Grenoble Alpes	Examinatrice
Cédric PRALET	DTIS, ONERA	Directeur de thèse
Christian ARTIGUES	LAAS-CNRS	Co-directeur de thèse
Jonathan GUERRA	Airbus Defence & Space	Encadrant

Résumé

En raison de la demande croissante de services de télécommunications et des exigences complexes des opérateurs de satellites, la charge utile des satellites de télécommunications doit atteindre des niveaux de performance élevés tout en respectant les ressources limitées à bord. L'optimisation et la conception d'outils d'aide à la décision pour la configuration de ces charges utiles est cruciale.

Cette thèse traite de problèmes d'allocation des ressources pour différentes missions de télécommunications. On considère tout d'abord un satellite de télécommunication pour la télédiffusion sur des zones géographiques, combinant des problèmes de coloration et de couverture, prouvés NP-difficiles. La zone d'intérêt est divisée en ensembles de polygones et doit être entièrement couverte par des faisceaux de formes et de positions différentes. Les faisceaux doivent être alloués à différents réflecteurs en assurant un espace suffisant pour les équipements associés. Ces contraintes sont modélisées comme des contraintes de coloration de graphe. Aucun algorithme n'étant disponible dans la littérature, nous avons implémenté deux heuristiques pour fournir des solutions rapidement. La première résout itérativement un modèle linéaire en nombres entiers avec un pool de faisceaux évolutif. La deuxième heuristique introduit des mécanismes spécifiques de fusion et scission pour transformer un ensemble initial de faisceaux en une solution réalisable. Nous proposons ensuite des formulations

innovantes pour appliquer des méthodes de décomposition. Premièrement, nous modélisons le problème à l'aide d'ensembles indépendants, chaque ensemble représentant des faisceaux alloués au même réflecteur. Le modèle est résolu de manière itérative à par un processus de génération de colonnes. La deuxième méthode, inspirée de la décomposition de Benders basée sur la logique, offre les meilleures solutions en termes de qualité et de temps de calcul.

Ensuite, nous traitons du problème d'allocation de ressources pour une constellation de satellites de télécommunications en orbite terrestre basse (LEO). Contrairement aux études existantes, cette thèse considère le problème dans sa taille réelle, impliquant des centaines de satellites et de milliers de cellules au sol. Les cellules représentent une segmentation spatiale régulière de la surface terrestre, contenant chacune des utilisateurs finaux répartis selon des scénarios réalistes. Un problème bi-critères est résolu : maximiser la capacité allouée et garantir la continuité du service. Un modèle mathématique est développé en plusieurs méthodes, incluant une méthode statique pour une borne supérieure de capacité maximale et des approches séquentielles pour maintenir les connexions entre les étapes. Comme les méthodes de programmation mathématique sont lentes et peu évolutives, une heuristique innovante est proposée exploitant des calculs de flux maximaux à coûts minimaux. Toutes les méthodes heuristiques montrent des améliorations significatives en termes de transitions (handovers) et de temps de calcul.

En troisième lieu, nous proposons d'étudier le problème de formation de faisceau pour un satellite géostationnaire flexible. Le problème consiste à choisir l'état approprié et la distribution des éléments d'antenne appelés alimentations, ce qui permet de former un faisceau façonné sur la zone d'intérêt. Une approche multicritère est proposée afin de considérer la distribution de la puissance transmise à travers l'alimentation, une autre ressource limitée et cruciale à bord. Nous proposons également de reformuler ce problème en utilisant l'optimisation convexe afin de calculer des bornes théoriques. Ces bornes sont des éléments clés pour évaluer la qualité des solutions trouvées.

Cette thèse souligne l'impact des différentes technologies et missions de télécommunications sur la nature des problèmes d'allocation de ressources et leurs difficultés, en se concentrant sur le développement d'algorithmes industrialisables et adaptables pour chaque problème.

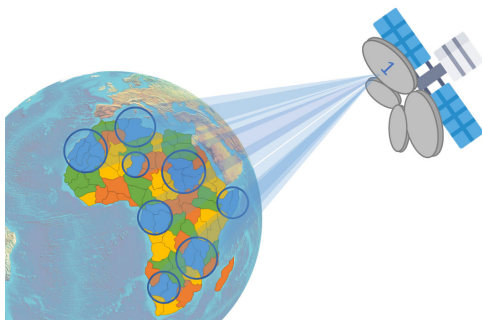


Figure1: Multi beam-layout pour un satellite GEO traditionnel

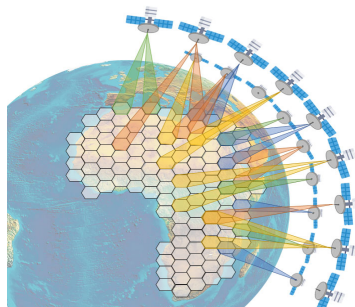


Figure2: Constellation de télécommunication LEO

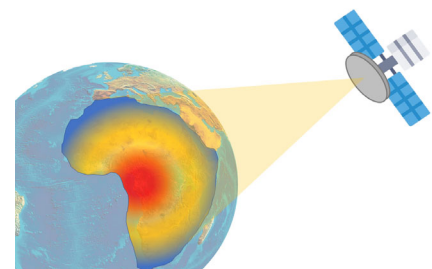


Figure3: Satellite GEO flexible

Mots clés :

Recherche opérationnelle ; Télécommunication spatiale ; Allocation de ressources ; Programmation mathématique ; Heuristiques ; Méthodes de décomposition