

## Soutenance de thèse

**Marvin STANCZAK** soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA ACDC et intitulée «*Optimisation du routage de guides d'onde pour un satellite de télécommunications*»

**Le 04 avril 2022 à 10h00, salle des thèses ISAE-SUPAERO**

devant le jury composé de

M. Cédric PRALET	Maître de recherche ONERA	Directeur de thèse
M. Vincent VIDAL	Maître de recherche ONERA	Co-directeur de thèse
M. Nicolas JOZEFOWIEZ	Professeur Université de Lorraine	Rapporteur
M. Dominique FEILLET	Professeur Ecole des Mines Saint-Etienne	Rapporteur
M. François CLAUTIAUX	Professeur Université Bordeaux	
Mme Nadia BRAUNER	Professeure Université Grenoble	
Mme Elise VAREILLES	Professeure ISAE-SUPAERO	
M. Vincent BAUDOUI	Ingénieur Airbus Defence and Space	

**Résumé :** Ces dernières décennies, la demande en services de communication fixes ou mobiles ainsi qu'en diffusion de télévision en directe, de radio numérique ou d'Internet à haut débit a augmenté de manière exponentielle. Pour répondre à cette demande croissante, les opérateurs de satellites de télécommunications doivent accroître continuellement la capacité de leurs satellites, ce qui engendre une hausse importante du nombre d'équipements et de connexions au sein des nouvelles charges utiles. Parmi ces connexions, les guides d'ondes sont des canalisations à section rectangulaire qui transportent des signaux électro-magnétiques utiles entre deux composants du satellite. Cependant, ces signaux subissent des pertes radio-fréquentielles en ligne au long des guides d'ondes. Ainsi, la conception du harnais de guides d'ondes joue un rôle crucial sur les performances du satellite. Cette thèse propose des méthodes d'optimisation pour le routage détaillé des guides d'ondes permettant de réduire leurs longueurs tout en prenant en compte les contraintes de conception liées au harnais radio-fréquentiel. Le Problème de Routage de Guide d'Ondes étudié consiste à connecter une configuration d'entrée à une configuration de sortie en utilisant un guide d'ondes composé d'une succession de sections droites et de coudes. Il considère plusieurs aspects non standards pour les approches classiques de Routage de Canalisations tels que la gestion d'un ensemble de coudes restreint à un catalogue pouvant contenir des coudes orthogonaux mais également non-orthogonaux, ou bien la gestion d'une canalisation à section rectangulaire, ce qui rend important la notion d'orientation de la canalisation. Dans un premier temps, toutes les contraintes spatiales sont ignorées dans le Problème de Routage de Guide d'Ondes en espace Libre et deux approches de résolutions sont introduites. La première formulation utilise la Programmation Linéaire Mixte (PLM) et est basée sur l'énumération des orientations possibles pour un segment du guide d'ondes. A cause des médiocres performances de cette dernière approche sur des instances industrielles, une autre formulation adaptée aux Algorithmes de Recherche Informés est proposée en utilisant une notion de plan de routage qui décrit un guide d'ondes partiellement routé. La faisabilité d'un plan est alors évaluée avec la Programmation Linéaire tandis que l'espace des plans est exploré avec des algorithmes comme le A\* pondéré ou la Recherche en Faisceaux. Pour cela, la distance à la destination peut être estimée via deux heuristiques utilisant la distance euclidienne et des combinaisons de coudes minimales. Avec la meilleure heuristique, dont la consistance a été démontrée, cette seconde formulation surpasse clairement l'approche PLM en résolvant la plupart des instances en moins d'une seconde. Dans un second temps, le Problème de Routage de Guide d'Ondes en espace Contraint, qui consiste à router un unique guide d'ondes dans un espace restreint pouvant contenir des obstacles, est étudié. Pour modéliser ces contraintes spatiales, l'espace de routage est vu comme un espace continu en trois dimensions divisé en cellules convexes non régulières qui évitent les obstacles.

Ensuite, les deux approches de résolution proposées pour le Problème de Routage de Guide d'Ondes en espace Libre sont étendues. La décision du canal de cellules devant être traversées est alors introduit dans le modèle PLM et dans la formulation en Problème de Recherche. Par ailleurs, plusieurs heuristiques basées sur des pistes relaxées dans l'espace de routage sont proposées pour améliorer les estimations en considérant les contraintes spatiales et les obstacles. Finalement, si l'approche PLM n'est définitivement pas capable de fournir des solutions en un temps raisonnable, les Algorithmes de Recherche Informés résolvent de petites instances industrielles avec des guides d'ondes réalistes en quelques minutes.

**Mots-clés :** Algorithme de Recherche Informé, Optimisation, Guide d'ondes, Pipe routing, Méta-heuristique, Programmation Linéaire

**Summary:** To meet the demand in capacity for telecommunications, satellite designers have to significantly increase the capacity of their new satellites. These new capacities can only be reached through an intensified complexity which requires new design procedures and the development of new software tools. That is why Airbus DS has developed software products in order to validate and optimize the conception of the satellite transponders. These developments rely on models and optimization methods which satisfy the demand so far. The standard operational research methods has been used : CSP, Conflict Directed Backjumping, A\*, Best First Search, Simulated Annealing, ... The design of the telecommunication payload copes with the specific constraints of the space environment. These constraints lead to drastic requirements about the reliability, the mass of embedded equipment or the limitation of the available power. The payload features consist in the number and the position of the equipment. The capacities of heat dissipation, electric power storage and amplification depends on these features. As the main task of a telecommunication satellite is to receive, amplify and transmit wide band signals, the power amplification is a leading feature which is closely related to the sizing phase. The amplification capacity has to be ensured in spite of the radio frequency losses that are melt during the signal processing. These losses consist in a heat dissipation of the electric power in the equipment. It is essential for the good sizing of the satellite to limit these losses and to estimate it as accurately as possible. The radio frequency losses can be limited by minimizing the length of the waveguides between the different devices, but also by optimizing the layout of these devices in order to reduce the distance between them.

**Keywords:** Pipe routing, Optimization, Informed Search Algorithm, Waveguide, Linear Programming, Meta-heuristics

