

# Allocation de créneaux de communication de satellites

Lucile Mahé

LocalSolver, 24 Avenue Hoche, Paris, France  
lmahe@localsolver.com

**Mots-clés** : *planification, communication satellitaire, recherche locale, projet industriel.*

## 1 Introduction

En à peine 60 ans, plus de 11 000 satellites ont été placés en orbite autour du globe. Ces satellites jouent un rôle dans de nombreux secteurs : télécommunications, armée, sciences... Pour ce faire, des stations réparties sur Terre assurent la réception des données et l'envoi de commandes en direction de ces satellites. Le planning de communication est géré par les agences spatiales, et doit prendre en compte aussi bien les besoins que les disponibilités : il n'est en effet possible de faire communiquer une station avec un satellite que lorsque ce dernier lui passe au-dessus au cours de son orbite.

Le problème d'optimisation consiste donc à remplir un planning en choisissant les créneaux les plus judicieux vis-à-vis des besoins listés par les opérateurs. Le planning standard a une durée d'une semaine et est planifié un mois à l'avance, pour une dizaine de satellites et autant de stations. Il doit être quotidiennement ajusté pour pallier les décalages d'orbites causés par les perturbations environnementales (Soleil, Lune, frottements). Par ailleurs, il est parfois nécessaire de simuler le remplissage d'un planning sur une période de six mois ou plus, pour vérifier le dimensionnement du réseau de satellites vis-à-vis des missions en cours.

## 2 Problème métier

Le planning se compose de créneaux de communication choisis dans la liste des passages de chaque satellite au-dessus de chaque station. Chacun de ces passages, ayant une durée variable allant de 3 à 20 minutes, est donc associé à une décision dans le problème : va-t-on ou non réserver ce créneau dans le planning.

Si les contraintes sont simples, et stipulent uniquement qu'une station ne peut dialoguer qu'avec un seul satellite à la fois et vice-versa, les besoins en réservations sont en revanche bien plus variés. Ces besoins, exprimés depuis une station ou un satellite, sont regroupés en 12 catégories. L'objectif du problème est de répondre à ces exigences, totalement ou partiellement en fonction des créneaux à disposition et des disponibilités des stations.

Parmi les différents besoins en réservation, on peut trouver par exemple :

- une durée totale de communication d'un satellite par semaine ;
- une durée maximale entre deux créneaux de communication ;
- un nombre maximum de créneaux pour une station par jour ;
- la réservation d'un créneau pour un satellite donné chaque premier lundi du mois.

La complexité du problème, outre sa taille, tient à la difficulté de coordonner l'ensemble des besoins, qui vont parfois dans des sens opposés. Par exemple, il est possible de définir un temps maximum entre deux créneaux d'un satellite, associé à un nombre maximum de créneaux par jour. De plus, à chaque créneau est attribué une priorité par l'agence spatiale, visant à favoriser certaines stations. Autrement dit, pour deux créneaux possibles correspondant à un besoin, il faut de plus être capable de tenir compte de leur priorité l'un par rapport à l'autre.

### 3 Résolution

Chaque satellite passe environ huit à dix fois par jour au-dessus de chaque station du réseau. Par conséquent, le problème grossit fortement avec la durée du planning et le nombre de satellites. Un planning standard (sur une semaine) compte environ 3000 variables, mais doit néanmoins être résolu rapidement (environ 30 secondes à 1 minute de calcul) car il est ré-optimisé quotidiennement. Un calcul de simulation d'une durée de six mois correspond à 25 fois plus de créneaux possibles, soit autant de variables supplémentaires à gérer. L'agence spatiale prévoit approximativement cinq secondes de calcul par jour supplémentaire, un planning de six mois doit donc être rempli en environ 15 minutes.

Afin de fournir un planning en toute circonstance, même lorsque certains des besoins ne peuvent être satisfaits, une approche multi-objectif a été choisie. La résolution du modèle a été confiée à LocalSolver [1], un solveur d'optimisation mathématique basé sur différentes techniques de recherche opérationnelle, qui optimise les objectifs de manière lexicographique. Il est alors possible de définir un ordre de priorité entre les différents groupes de besoins, afin d'aboutir au planning le plus proche possible des souhaits des utilisateurs. Par exemple, on va ainsi s'assurer en premier lieu que les horaires de maintenance des stations sont correctement pris en compte, et dans un second temps que le nombre de créneaux par satellite atteint bien le minimum attendu. La priorité des créneaux ne sera en revanche que le dernier objectif, puisqu'il s'agit de favoriser un créneau vis-à-vis d'un autre uniquement si les deux créneaux permettent de respecter les besoins en réservation.

LocalSolver est particulièrement performant sur ce modèle à base de booléens, et sa capacité à passer à l'échelle est un atout notable pour les plannings de longue durée. Nous présenterons les étapes du projet et les résultats obtenus sur des instances réelles pour ce modèle qui est d'ores et déjà utilisé par les opérateurs.

### Références

- [1] F. Gardi, T. Benoist, J. Darlay, B. Estellon, and R. Megel. *Mathematical Programming Solver Based on Local Search*, Wiley, 2014.