

Regroupement de faisceaux pour des satellites de télécommunications: matheuristique vs recherche locale

Camille LESCUYER¹, Christian ARTIGUES², Jean-Thomas CAMINO³, and Cédric PRALET⁴

^{1,2}LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse, France

^{1,3}Airbus Defence and Space, Toulouse, France

^{1,4}ONERA, Toulouse, France

30 novembre 2022

Mots clés : Satellite de télécommunication, Coloration de graphes, Clustering

1 Problématique

On s'intéresse ici à un problème de dimensionnement rencontré par les constructeurs de satellites de télécommunication. On considère une large zone découpée en plusieurs sous-régions sur lesquelles des demandes spécifiques s'expriment en nombre de canaux de télévision souhaités, de manière inhomogène. Par exemple, on peut retrouver ce type de découpage sur l'Europe en raison des diversités linguistiques. La réponse naturelle à une telle demande est un recours à une pluralité de faisceaux radiofréquences couvrant toutes ces sous-régions.

Avec la technologie antennaire considérée ici, chaque faisceau nécessite une source radiofréquence dédiée à bord du satellite, laquelle devra illuminer un des réflecteurs paraboliques de ce dernier. Les tailles des sources varient en fonction des régions que leur faisceau résultant doit couvrir. Cela ajoute des contraintes à l'exercice nécessaire d'attribution d'exactly un réflecteur à chaque source : deux sources trop proches sur un même réflecteur pourraient collisionner. Ce travail intervient à la suite de [2] où l'on traite notamment le problème de positionnement de faisceaux de tailles identiques.

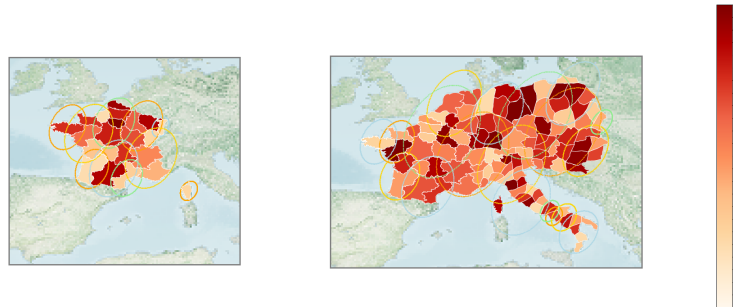


FIGURE 1 – Solutions pour une instance à 22 sous-régions (gauche) et 104 sous-régions (droite)

Pour chaque groupe de sous-régions, on est capable de calculer le rayon minimal du faisceau qui les couvrent toutes. Ce rayon doit être inférieur au rayon maximal donné en entrée. Le problème revient à trouver un ensemble de faisceaux respectant cette contrainte, qui couvre l'ensemble des régions et pour lequel il existe une allocation admissible de réflecteurs. Ce problème s'exprime naturellement comme une coloration de $G_{\text{réflecteur}}$ avec autant de couleurs que de réflecteurs. Toutes les combinaisons de sous-régions possibles nous donne 2^{N_R} faisceaux possibles. Le problème résolu est alors bi-critère :

1. Maximisation du nombre de sous-régions (maximisation du volume de service)
2. Minimisation des tailles des faisceaux retenus (indirectement, maximisation de la qualité de ce service)

2 Approche matheuristique

Une première approche est de résoudre ce problème par programmation linéaire en nombre entiers. On considère un ensemble de N_R sous-régions à couvrir, et un ensemble N_C de couleurs disponibles correspondant au nombre de réflecteurs à bord. On définit un ensemble B_0 de faisceaux initiaux inclus dans l'ensemble de tous les groupes de sous-régions possibles. Après avoir déterminé les incompatibilités de réflecteur pour cet ensemble, on résout exactement le problème décrit au paragraphe précédent sur l'ensemble B_0 . L'idée est d'alimenter cette base de données initiale en faisceaux par itérations successives et de résoudre le PLNE associé avec des solvers commerciaux tels que Gurobi ou CPLEX jusqu'à couvrir toutes les sous-régions.

Dans l'ensemble des stratégies heuristiques d'évolution de cette base de données de faisceaux qui alimente le modèle PLNE, celle retenue repose sur une augmentation progressive du plus grand cardinal accepté pour ces groupes de régions, et sur une sélection maîtrisée des groupes inédits intégrant le modèle d'une itération sur l'autre. On montrera que cette méthode fonctionne sur des petites instances mais d'autres recherches doivent être menées pour converger sur des instances plus conséquentes.

3 Heuristique de fusion

Dans cette méthode, on part de faisceaux couvrant chacun uniquement une sous-région. Tant que la coloration du graphe $G_{reflecteur}$ associée ne peut se faire avec le nombre maximum de couleurs autorisé, on va sélectionner deux faisceaux pour les fusionner : les faisceaux sont supprimés pour en créer un nouveau couvrant toutes les sous-régions des deux faisceaux. On définit différentes manières de sélectionner deux faisceaux de façon à favoriser les petits faisceaux et à réduire le nombre de couleurs dans $G_{reflecteur}$. Après chaque fusion, on utilise DSATUR [1] pour estimer le nombre chromatique du graphe. Si l'algorithme ne parvient plus à trouver de fusion possible, on "casse" un certain nombre de faisceaux. Le scission consiste à choisir un faisceau qui couvre un ensemble de sous-régions, et à le supprimer pour créer à nouveau tous les faisceaux couvrant uniquement une sous-région de cette ensemble. Le scission est également utilisé lorsqu'on trouve une solution. L'algorithme s'arrête une fois qu'il a atteint un certain temps limite, et retourne un ensemble de solutions qu'on est capable d'évaluer. On s'inspire ici de la méthode ILS[3]. On pourrait en effet associer la recherche locale aux successions de fusions, et la perturbation au processus de scission. Cette méthode a l'avantage d'être rapide et ne peut fournir que des solutions qui couvrent toutes les sous-régions. En revanche, on est pas assuré de trouver une solution et elle demande beaucoup de paramétrage.

4 Résultats et perspectives

Dans ce travail, on compare deux méthodes approchées pour regrouper des sous-régions afin de former des faisceaux qui seraient implémentables au sein d'une antenne de satellite de télécommunication. Dans l'approche matheuristique, on a systématiquement une solution pour laquelle il existe une coloration de $G_{reflecteur}$ et on cherche à couvrir l'ensemble des sous-régions. Cette méthode est deux fois plus longue en temps de calcul que l'approche heuristique. Elle a permis de trouver une solution sur une instance à 22 régions. Elle a également le potentiel d'être améliorée si on ne trouve pas de solutions pas ajout d'autres faisceaux (génération de colonnes ou méthode LNS). Pour l'approche heuristique, on couvre toujours toutes les sous-régions et on cherche à trouver un ensemble de faisceaux pour lesquels il existe une coloration de $G_{reflecteur}$. L'approche heuristique offre pour le moment de meilleurs résultats en termes de performance et de qualité des solutions sur de petites instances. Elle a pu trouver des solutions pour des instances à 22 régions et 104 régions.

Références

- [1] Daniel Brélaz. New methods to color the vertices of a graph. *Communications of the ACM*, 22(4) :251–256, 1979.
- [2] Jean-Thomas Camino. *Co-optimisation charge utile satellite et système télécom*. PhD thesis, 2017. 2017TOU30401.
- [3] Helena R Lourenço, Olivier C Martin, and Thomas Stützle. Iterated local search. In *Handbook of metaheuristics*, pages 320–353. Springer, 2003.