

Optimisation du déploiement des réseaux de fibres optiques : le problème de câblage optique

Charles Nourry¹, Matthieu Chardy², Amal Benhamiche², A. Ridha Mahjoub³

¹ Étudiant Master 2 MODO, Université Paris-Dauphine, France
`charles.nourry@dauphine.eu`

² Orange Labs, 44 Avenue de la République, 92320 Châtillon, France
`{matthieu.chardy,amal.benhamiche}@orange.com`

³ Laboratoire LAMSADE, UMR CNRS 7024, Université Paris-Dauphine, France
`ridha.mahjoub@lamsade.dauphine.fr`

Mots-clés : *Optimisation combinatoire, PLNE, Réseaux de fibres optiques, Fiber To The Home*

1 Introduction

Orange est l'un des principaux groupes de télécommunication en France et dans le monde. Présent dans 28 pays pour les clients résidentiels et 220 pays pour les clients Entreprise, il doit y assurer l'évolution et le fonctionnement de ses réseaux mobiles et filaires.

Ces dernières années, les opérateurs de télécommunication s'intéressent au remplacement des réseaux de cuivre actuels par des réseaux de fibres optiques. Les réseaux de cuivre ayant atteint leurs limites physiques en terme de débit, ils ont de plus en plus de mal à suivre une consommation de plus en plus importante (transfert de fichiers, streaming vidéo ou audio, cloud computing...). Cette augmentation de la demande impose aux opérateurs de télécommunication du monde entier d'accroître la capacité de leurs réseaux. Pour résoudre ce problème, les opérateurs se sont orientés vers la fibre optique. Les avantages de celle-ci sont nombreux ; des débits élevés, une latence très faible, un affaiblissement également très faible...

Le déploiement de réseaux de fibres optiques est actuellement l'un des défis les plus importants des opérateurs de télécommunications, notamment pour des raisons financières, en effet un réseau couvrant l'ensemble de la France est estimé à plusieurs dizaines de milliards d'euros. Ces montants importants justifient l'étude des différents problèmes d'optimisation associés aux réseaux de fibres optiques.

2 Définition du problème de câblage optique

Tout au long de ce stage, nous nous sommes intéressé au problème de câblage optique, un sous-problème de l'optimisation du déploiement des réseaux de fibres optiques. Celui-ci peut être défini de la manière suivante : compte tenu d'un graphe décrivant la structure du génie civil existant, le problème de câblage consiste à déployer un ensemble de câbles de fibres optiques à partir d'un noeud source, jusqu'aux noeuds de demandes, en servant toutes les demandes et tout en minimisant le coût total (déploiement des câbles, boîtiers de protection et soudures).

Nous nous intéressons au déploiement d'un réseau pour des régions géographiques habitées, essentiellement des villes ou des communes. Les câbles contenant les fibres optiques doivent être disposés dans les conduits du génie civil existant (réseau de lignes de cuivre, lignes électriques, métros). L'ensemble du génie civil constitue notre graphe sur lequel nous allons déployer notre réseau.

À première vue, le problème de câblage optique ressemble à un problème de flots, cependant de nombreuses opérations peuvent être effectuées sur les câbles, celles-ci nous permettent de réaliser de grandes économies par rapport aux solutions trouvées en utilisant les flots classiques, de plus elles rendent notre problème bien particulier. Ces opérations peuvent être de différentes natures ; il existe plusieurs techniques de séparation des câbles, plusieurs manières de servir une demande, des politiques de retour en arrière, etc. Nous avons également traité plusieurs variantes du problème de câblage, chacune contenant des opérations autorisées et/ou des opérations interdites. Certaines de ces opérations n'étant pas modélisables avec des flots, nous avons donc recouru à la programmation linéaire en nombres entiers pour résoudre ce problème. Nous nous intéressons à des méthodes de résolution exactes de type Branch and Bound et Branch and Price.

3 Contributions personnelles

Dans un premier temps, en partant des travaux de V. Angilella ([1],[2],[3],[4]), nous avons étudié différentes propriétés et caractéristiques d'un modèle en PLNE permettant de résoudre toutes les variantes du problème de câblage. Nous avons également abordé une approche polyédrale du problème de câblage optique, renforçant le modèle de base à l'aide de nombreuses familles d'inégalités valides. De nombreux tests sur des instances réelles d'Orange ont été réalisés, les résultats obtenus montrent que nos renforcements permettent de réduire grandement le temps de résolution pour les différentes variantes de notre problème. Dans un second temps, afin de lutter contre le nombre potentiellement exponentielle de variables de notre modèle, nous nous sommes intéressé à une procédure de génération de colonnes, avec pour objectif de l'intégrer dynamiquement dans un algorithme de Branch and Price. Notre problème de pricing constitue un problème de plus court chemin dans un graphe constitué d'arêtes de poids positifs et qui peut donc être résolu en temps polynomial avec par exemple un algorithme de Dijkstra. Pour cette deuxième partie, nous avons également implémenté plusieurs procédures de génération de colonnes et procédé à de nombreux tests.

Références

- [1] V. Angilella. *Fiber Cables Network Design*. PhD thesis, Telecom Sud Paris/Université Paris-Saclay et Orange Labs, 2018.
- [2] V. Angilella, M. Chardy, and W. Ben-Ameur. *Fiber cable network design in tree networks*. European Journal of Operations Research, 2018.
- [3] V. Angilella, M. Chardy, and W. Ben-Ameur. *Design of fiber cable tree networks for the fiber to the home*. International Networks Optimisation Conference, Lisboa, Portugal, February 2017.
- [4] V. Angilella, M. Chardy, and W. Ben-Ameur. *Fiber cable network design with operations administration & maintenance constraints*. International Conference on Operations Research and Enterprise Systems, Funchal, Madeira, Portugal, January 2018.