

---

# Optimisation des évolutions d'un réseau télécoms

Laurent Jeannin<sup>1</sup>, Simon de Givry<sup>2</sup>

1. THALES Research & Technology, Domaine de Corbeville  
91404 Orsay cedex  
laurent.jeannin@thalesgroup.fr

2. INRA, BP 27  
31326 CASTANET-TOLOSAN cedex  
degivry@toulouse.inra.fr

---

*RÉSUMÉ.* Cet article présente l'application de conception de réseaux développée par THALES Research & Technology. Le problème est de déterminer les évolutions successives à apporter à un réseau de façon à satisfaire des besoins prévisionnels et en minimisant le coût global d'investissement et de maintenance des infrastructures. L'application a été modélisée avec un solveur de contraintes dans les domaines finis. L'algorithme de résolution a été conçu selon l'architecture définie dans EOLE et développé avec la bibliothèque ToOLS© (Templates of On-Line Search). Nous illustrons l'utilité d'une telle bibliothèque en prototypant rapidement et en comparant plusieurs algorithmes de résolution (recherches partielles et algorithmes hybrides).

*MOTS-CLÉS :* programmation par contraintes, dimensionnement de réseaux, recherche locale à grands voisinages.

---

## 1. Introduction

Cet article présente l'application de conception de réseaux développée par TRT dans le cadre du projet EOLE<sup>1</sup> (Environnement d'Optimisation temps réel en LignE dédié télécoms). La mise en œuvre des extensions d'un réseau suit un processus complexe, où de nombreux paramètres de nature très diverse (économique, politique, stratégique, ...) sont à prendre en compte. Résoudre ce problème dans sa globalité semble difficilement réalisable. Notre objectif est de déterminer et de résoudre un sous problème suffisamment réaliste et pertinent afin d'accompagner le concepteur du réseau dans la recherche d'une bonne solution. Ce type d'utilisation repose sur une forte interaction entre le concepteur et l'outil qui doit avoir des temps de réponse très courts. Il s'agit d'une approche par simulation : le concepteur raffine progressivement les paramètres du modèle en fonction des résultats fournis par l'algorithme de résolution.

---

<sup>1</sup> Ce projet est soutenu par le Réseau National de Recherche en Télécommunications

Le problème est de déterminer les évolutions successives à apporter à un réseau de façon à satisfaire des besoins prévisionnels et en minimisant le coût global d'investissement et de maintenance des infrastructures. Les besoins sont insécables (ie : ils ne peuvent emprunter qu'un seul chemin). Ce problème de mono-routage avec contraintes linéaires discrètes est NP-complet [Bertsekas 1998].

L'application a été modélisée avec un solveur de contraintes dans les domaines finis. Pour obtenir de bonnes solutions en temps limité, nous avons utilisé un framework dédié à l'optimisation en ligne et élaboré un algorithme de recherche partielle hybridé avec une recherche locale à grand voisinage.

Ce problème est proche de celui présenté dans [Le Pape et al. 2002] qui propose une comparaison de différentes techniques (programmation par contrainte, programmation linéaire en nombres entiers, génération de colonnes) pour résoudre différentes variantes d'un problème de dimensionnement de réseaux, en insistant sur la notion de robustesse. [Perron 2003] utilise la programmation par contrainte pour résoudre le problème précédent. La phase de résolution est en partie basée sur une recherche locale à grand voisinage. [Lauvergne et al 2002] adresse un problème de mono-routage avec une approche hybridant un algorithme de plus court chemin, la propagation de contraintes et un principe de réparation.

## **2. Le problème**

Un réseau GSM est composé d'un sous-réseau de transport haut-débit, le réseau cœur, et d'un sous-réseau de transmission, le réseau capillaire, sur lequel porte l'outil de conception. Ce réseau est composé de stations BSC (Base Station Controller : nœuds concentrateurs), de BTS (Base Terminal Station : nœuds terminaux) et de multiplexeurs (MUX) reliés entre eux par différents types de liaisons (lignes louées, faisceaux hertziens ou fibres optiques). Le réseau est subdivisé en Zones Primaires de Transmission (ZPT). L'outil de conception permet de travailler sur une ZPT et d'évaluer les évolutions à apporter au réseau afin de répondre à de nouveaux besoins. Un besoin indique une évolution du trafic prévue entre 2 nœuds du réseau, (entre une BTS et une BSC). On cherche à déterminer les évolutions successives à apporter au réseau de façon à satisfaire tous les besoins et en minimisant le coût global d'investissement et de maintenance des infrastructures.

## **3. Modélisation**

Ce problème est composé des sous-problèmes suivants : un problème de routage pour le tracé des routes vérifiant les capacités des liaisons et les débits requis des besoins ; un problème de configuration et de dimensionnement (choix du type et de la capacité des équipements et des liaisons) ; un problème de planification (choix des dates des évolutions en fonction des coûts fixes et des coûts récurrents). Notons que

les seules évolutions autorisées sont la création ou l'extension d'un équipement (c'est-à-dire l'accroissement de sa capacité).

Le réseau est modélisé par un graphe dont les sommets représentent les sites réels ou potentiels ; et dont les arcs sont les liaisons réelles ou potentielles. Les équipements (liaisons et sites) sont caractérisés par une capacité initiale, des possibilités d'extension, des coûts de création et d'extension (coûts fixes) et un coût de maintenance (coûts récurrents). Les besoins à placer sont caractérisés par une origine, une destination et un débit.

Le problème de planification est décomposé en plusieurs étapes, chaque étape correspondant à l'état du réseau à une date donnée et à la liste des besoins à pourvoir à cette échéance. Des variables de décision sont associées pour décrire l'état du réseau à chaque pas de temps.

#### 4. Résolution

L'algorithme de résolution a été conçu selon l'architecture définie dans EOLE [EOLE 2001] et développé avec la bibliothèque ToOLS© (Templates of On-Line Search). Un algorithme de recherche est la conjonction de quatre composants distincts : (1) un **ensemble d'heuristiques** pour ordonner les choix, (2) un **schéma de recherche** qui représente un arbre de recherche, (3) une **stratégie d'exploration** appliquée à un schéma de recherche pour en contrôler sa complexité, (4) une **stratégie temporelle** permettant la gestion du temps pour les algorithmes de recherche hybrides.

Pour notre problème, nous définissons un schéma de recherche en deux étapes : détermination du routage de tous les besoins par énumération, déduction des capacités des équipements nécessaires pour supporter ce routage.

Nous avons appliqué une recherche partielle à notre schéma de recherche : CREDIT [Beldiceanu *et al*98] qui limite les choix en bas de l'arbre en accordant un certain montant de crédit aux nœuds, afin de remettre en cause les premiers choix effectués en haut de l'arbre ; et une stratégie hybride à base de recherche locale à grand voisinage de taille variable [Loudni&Boizumault 2001], utilisant la technique de shuffling pour définir le voisinage [Applegate&Cook 1991]. Une partie du routage est défaite, puis reconstruite de façon alternative.

#### 5. Expérimentations

Lors des expérimentations, nous avons observé que l'algorithme de recherche partielle CREDIT fournit de bons résultats sur des temps très courts. La recherche hybride proposée dans ToOLS, avec des paramètres par défaut, n'améliore pas la

première solution trouvée. Néanmoins, en adaptant le voisinage à la structure du problème cette recherche trouve des solutions nettement meilleures.

## 6. Conclusion

Cette application nous a permis d'utiliser ToOLS dans le cadre d'un problème réel. Ce framework dédié à l'optimisation en ligne permet de surmonter une faiblesse de l'approche contrainte : la résolution en temps limité, tout en conservant la déclarativité du paradigme. Les primitives du langage ont facilité l'écriture d'arbre de recherche. Le code produit est plus clair et plus concis. L'utilisation des patrons de recherche facilite la réutilisation et la capitalisation des algorithmes. C'est un bon outil de prototypage pour ce type de problème.

Dans cette application, la recherche partielle a montré son utilité sur des contrat de temps court. L'utilisation de grands voisinages adaptés à la structure du problème a amélioré la qualité des solutions de façon significative. Cet algorithme très générique a déjà été appliqué à d'autres types de problèmes, notamment le problème de gestion de missions d'un satellite agile, sujet du challenge ROADEF 2003.

## 7. Bibliographie

- [Applegate&Cook 1991] D. Applegate, B. Cook. A computational study of the job shop scheduling problem. *Operations Research Society of America*, 3(2), 1991.
- [Beldiceanu et al. 1998] Beldiceanu N., E. Bourreau, H. Simonis, and D. Rivreau (1998). Introduction de métaheuristiques dans CHIP. In *Proc. of MIC-98*.
- [Bertsekas 1998] Dimitri P. Bertsekas, *Network Optimization*, 1998.
- [de Givry&Jeannin 2003] de Givry S., Jeannin L. ToOLS : A library for partial and hybrid search methods, à paraître dans *CP-AI-OR 2003*.
- [EOLE 2001] Eole consortium. Towards an on-line optimisation framework. *CP-01 workshop On-Line combinatorial problem solving and Constraint Programming (OLCP'01)*, 2001.
- [Laburthe et al. 1998] Laburthe, F., P. Savéant, S. de Givry, and J. Jourdan (1998). Eclair: A library of constraints over finite domains. Technical Report technical report ATS 98-2, Thomson-CSF LCR, Orsay, France.
- [Le Pape et al. 2002] Le Pape C., Perron L., Régim J., Shaw P, Robust and parallel solving of a design problem. In *proc of CP 2002*.
- [Loudni&Boizumault 2001] Une approche hybride pour la résolution des VCSP en contexte anytime. In *Proc. of JNPC-2001, Toulouse, 2001*.
- [Perron 2003] L. Perron, Résolution aléatoire d'un problème industriel de planification de réseau, *ROADEF 2003*