

Recherche locale haute performance pour l'optimisation de la distribution de gaz industriels par camions-citernes

Thierry BENOIST¹, Bertrand ESTELLON², Frédéric GARDI¹, Antoine JEANJEAN¹

¹ Bouygues e-lab, Paris.

{tbenoist,fgardi,ajeaujean}@bouygues.com

² Laboratoire d'Informatique Fondamentale, Faculté des Sciences de Luminy, Marseille.

bertrand.estellon@lif.univ-mrs.fr

Dans cette note, nous abordons un problème réel d'optimisation de la logistique de distribution de gaz industriels par camions-citernes. Le problème de logistique traité ici généralise une problématique connue sous son nom anglophone "inventory routing problem", que l'on pourrait traduire en français par problème d'optimisation de tournées de véhicules avec gestion des stocks (le lecteur est renvoyé à [3] pour un état de l'art sur le sujet). Une différence majeure avec le "vehicle routing problem" est qu'ici les stocks des clients sont gérés par le fournisseur.

Nous avons, éparpillés sur une zone géographique, des clients qui consomment du gaz et des sources qui en produisent. Chaque client est équipé d'un stockage possédant une certaine capacité; de même, chaque source (correspondant à une usine) possède un stockage duquel peut être prélevé le gaz. Les prévisions de production des sources sont connues sur un certain horizon. Côté client, nous gérons deux types d'approvisionnement. Le premier type, dit "à la prévision", correspond aux clients pour lesquels on possède les prévisions de consommation sur un certain horizon. Les stocks de ces clients doivent être alimentés par camions-citernes de façon à ne jamais descendre en dessous d'un niveau de sécurité. Le second type, dit "à la commande", correspond aux clients qui passent des commandes comprenant la quantité à livrer et la fenêtre de temps dans laquelle la livraison doit être effectuée. Certains clients peuvent appartenir aux deux types à la fois : leur stock est géré de façon prévisionnelle mais ils peuvent passer commande lorsqu'ils le souhaitent (pour faire face à une augmentation imprévue de leur consommation, par exemple). Les contraintes de maintien des niveaux de stocks et de satisfaction des commandes sont définies comme molles, l'existence d'une solution n'étant pas assurée.

Les livraisons sont effectuées à l'aide de trois types de ressources : les chauffeurs, les tracteurs, les remorques. Chaque ressource est attachée à une base. Un véhicule correspond à l'association d'un chauffeur, d'un tracteur et d'une remorque. Tous les triplets de ressources ne sont pas admissibles. Chaque ressource possède des fenêtres de disponibilité pendant lesquelles celle-ci peut être utilisée. Chaque site (source ou client) n'est accessible qu'à un sous-ensemble des ressources. Ainsi, planifier la tournée d'un véhicule consiste à définir : une base, un triplet de ressources (chauffeur, tracteur, remorque), et un ensemble d'opérations définies chacune par un triplet (site, date, quantité) correspondant aux livraisons/chargements effectués sur la tournée. Une tournée doit donc démarrer depuis une base où toutes les ressources sont présentes et se clore par un retour à cette même base. Les temps de travail et de conduite des chauffeurs sont limités; dès qu'un maximum est atteint, le chauffeur doit prendre une pause d'une durée minimale. Les sites visités (sources, clients) durant la tournée doivent être accessibles aux ressources composant le véhicule. L'intervalle de temps pendant lequel est

utilisée une ressource doit être contenu dans une fenêtre de disponibilité de celle-ci. La date de livraison/chargement doit être contenu dans une des fenêtres d'ouverture du site. Enfin, les équations de dynamique des stocks, qui s'apparentent à des équations de flux, doivent être respectées à chaque pas de temps, pour chaque stockage (sources et clients) et chaque remorque; en particulier, la somme des livraisons (resp. des chargements) effectuées chez un client (resp. une source) doit être inférieure (resp. supérieure) à la capacité de stockage du client (resp. à zéro).

La planification des tournées est réalisée jour après jour de façon déterministe sur un horizon glissant de 15 jours. Le premier objectif de la planification est, à long terme, de satisfaire les contraintes molles évoquées précédemment (maintien des niveaux de sécurité, satisfaction des commandes). En pratique, les cas où ces contraintes ne peuvent être respectées sont extrêmement rares. L'objectif second est donc, à long terme, de minimiser un ratio logistique défini comme la somme des coûts des tournées (composés de différents coûts d'utilisation des ressources affectées à la tournée) divisé par la somme des quantité livrée aux clients. Autrement dit, ce ratio logistique correspond au coût payé par unité de quantité livrée. Pour donner un ordre d'idée de l'échelle des instances réelles, une zone géographique peut comporter jusqu'à 500 clients, 5 sources, 5 bases, 50 chauffeurs, 50 tracteurs, 50 remorques. Toutes les dates et les durées sont exprimées en minutes (au total, l'horizon de planification comporte donc 21600 minutes); seule la dynamique des stocks des sources et des clients est réalisée à l'heure (les prévisions étant données à l'heure près). Le temps d'exécution est limité à 5 minutes (sans parallélisation) sur des serveurs classiques (CPU 3 GHz, RAM 4 Go, cache L2 4 Mo).

Nous avons conçu une heuristique à base de recherche locale pour résoudre ce problème. La conception de notre algorithme s'appuie sur les travaux récents de Estellon *et al.* [1,2]. La stratégie de recherche se limite à une méthode de descente avec choix stochastique des mouvements, à partir d'une solution initiale obtenue par une heuristique gloutonne. Nous utilisons un pool d'une cinquantaine de mouvements, que l'on peut regrouper en une dizaine de types (sur les opérations : insertion, suppression, éjection, déplacement, échange; sur les tournées : insertion, suppression, déplacement, échange, décalage). L'évaluation des mouvements est réalisée en deux temps : calcul des dates de livraison/chargement, puis affectation des quantités. Pour chacun de ces sous-problèmes, des algorithmes en temps et espace linéaire (non optimaux mais effectifs en pratique) ont été conçus afin que l'évaluation soit la plus rapide possible. En moyenne, notre recherche locale tente 50000 mouvements par seconde, le taux d'acceptation des mouvements étant de quelques %.

Les tests que nous avons effectués montrent des gains de près de 20 % sur des horizons dépassant la centaine de jours. Ces gains sont obtenus sur des solutions construites manuellement par des planificateurs experts. Notre logiciel est aujourd'hui exploité par un des leaders mondiaux des gaz industriels et médicaux pour planifier sa distribution en Amérique du Nord.

Références

1. B. Estellon, F. Gardi, K. Nouioua (2008). Two local search approaches for solving real-life car sequencing problems. *European Journal of Operational Research* 191(3), pp. 928–944.
2. B. Estellon, F. Gardi, K. Nouioua (2008). Recherche locale haute performance pour la planification des interventions à France Télécom. In *Actes des JFPC 2008*. Nantes, France.
3. M.W.P. Savelsbergh, J.-H. Song (2008). An optimization algorithm for the inventory routing with continuous moves. *Computers and Operations Research* 35, pp. 2266–2282.