Modèles pour la planification des réparations de puits de pétrole

Andréa C. Santos[1], Christophe Duhamel[1], Dario J. Aloise[2]

[1] LIMOS, Université Clermont-Ferrand II, France
{andrea,christophe.duhamel}@isima.fr
[2] Université Fédérale de Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil
dario@pep.ufrn.br

Mots-Clés : *Planification, modélisation, programmation linéaire mixte, pétrole.*

1 Introduction

L'utilisation de systèmes artificiels de pompage est courant dans les bassins pétroliers. Ils demandent une manutention régulière, car ils sont susceptibles d'avoir des défaillances. La défaillance des équipements d'un puits a des conséquences financières importantes dûes à l'arrêt de la production et aux coûts de réparation. D'autre part, la taille et les contraintes du problème rendent compliquée la planification des réparations. Nous proposons une étude de cas sur le bassin pétrolier du Nordeste au Brésil. Ce bassin contient plus de 4000 puits de pétrole dont 80% nécessitent un équipement de pompage artificiel. Actuellement, la région dispose de 11 équipements d'intervention (les sondes) pour environ 200 défaillances sur une période de 15 jours. Dans ce travail, on étudie des modèles mathématiques et leur performance pour le problème de planification de pannes.

Les demandes suite à une défaillance de puits s'échelonnent dans le temps. Elles sont définies par le puits et le type de réparation requis : nettoyage, changement de pièces, manutention, etc. La quantité de sondes est limitée et elles diffèrent par les types de réparation qu'elles peuvent effectuer (flotte hétérogène). Le déplacement des sondes se fait de jour et par convois exceptionnel limité à 40 km/h. Ainsi, l'affectation d'une sonde pour réparer un puits dépend de son niveau de production, de la localisation des sondes au moment du problème et du type de réparation demandée. Le problème consiste à déterminer un planning de réparation pour les sondes de manière à traiter toutes les pannes dans une période de temps fixée, tout en minimisant la perte totale de production.

Une méthode approchée reposant sur l'heuristique VNS a été développée dans [1]. Un modèle mathématique est également proposé, sans faire l'objet d'expérimentations. L'idée centrale de ce modèle repose sur la détermination de l'ordre absolu du traitement de chaque panne. Les variables de décision indiquent si le puits j est le $k^{ème}$ traité par la sonde i. À partir d'instances proches de la réalité, nous analysons les résultats numériques liés à ce modèle. Nous proposons aussi des modifications destinées à améliorer les performances : en réduisant la quantité de variables, de contraintes et le temps de calcul. Ensuite, on propose des formulations basées sur les modèles classiques du VRP [2], où les variables de décision donnent un ordre relatif entre les puits : la sonde k traite le puits j juste après le puits i.

2 Modèle initial et améliorations

On considère un graphe complet $G = (V, A)$ où V est l'ensemble des n puits et A l'ensemble des m chemins entre puits. Pour le puits j, p_j désigne sa production, l_j le type de service et d_j sa durée de réparation. On dispose de r sondes, avec q_i le type de la sonde i. On note t_{ij} la durée de parcours de l'arc (i, j) et e_{ij} la durée de déplacement de la sonde i de sa position initiale au puits j. Le modèle initial est donné par (1)–(9). Les variables de décision y_{ij}^k spécifient si le puits j est le $k^{ème}$ traité par la sonde i ou non. Les variables x_j définissent la date de début de réparation sur le puits j.

$$\min \;\; P = \sum_{j=1}^{n} p_j(x_j + d_j) \qquad s.t. \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^{r} \sum_{k=1}^{n} y_{ij}^k = 1 \qquad \forall j = 1, ..., n \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{ij}^k \leq 1 \qquad \forall i = 1...r, \forall k = 1, ..., n \tag{3}$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{ij}^{k+1} \leq \sum_{j=1}^{n} y_{ij}^k \qquad \forall k = 1...n-1, \forall i = 1...r \tag{4}$$

$$l_j \sum_{k=1}^{n} y_{ij}^k \leq q_i \qquad \forall i = 1...r, \forall j = 1, ..., n \tag{5}$$

$$x_k \geq x_j + d_j + t_{jk} - M\left(2 - \sum_{h=1}^{s} y_{ij}^h - \sum_{h=s+1}^{n} y_{ik}^h\right) \qquad \forall (j,k) \in A, \forall s = 1...n-1, \forall i = 1...r \tag{6}$$

$$x_j \geq \sum_{i=1}^{r} e_{ij} y_{ij}^1 \quad \forall j = 1, ..., n \tag{7}$$

$$x_j \geq 0 \qquad \forall j = 1, ..., n \tag{8}$$

$$y_{ij}^k \in \{0, 1\} \qquad \forall i = 1...r, \forall j = 1, ..., n, \forall k = 1...n \tag{9}$$

L'objectif (1) est de minimiser les pertes de pétrole résultant de l'arrêt des puits. Les contraintes (2) imposent le traitement de chaque panne (elles peuvent être relâchées, autorisant certains puits à ne pas être traités). Les inégalités (3) spécifient que chaque sonde sert au plus un puits à la fois. Les contraintes (4) garantissent la continuité de l'ordre de traitement des pannes pour chaque sonde. Les contraintes (5) vérifient l'adéquation de la sonde affectée au puits. Les inégalités (6) lient les dates de démarrage des réparations sur deux puits s'ils sont traités consécutivement par la même sonde. Les contraintes (7) déterminent la date de démarrage des réparations sur le puits s'il est en première position. Les variables sont définies en (8) et (9).

Une première amélioration consiste à réduire le nombre de variables et contraintes du problème. Connaissant les affectations valides d'une sonde à une demande, on peut supprimer plusieurs variables y ainsi que les contraintes (5). Les inégalités (7) peuvent être renforcées en considérant la date minimale de démarrage d'un puits s'il est en seconde, voire en troisième position. Enfin, on propose l'encadrement de la solution optimale par deux bornes résultant de l'approximation du temps de déplacement des sondes d'un puits à l'autre. On considère également des formulations où les variables y_{ij}^k indiquent que la sonde k traite le puits i ensuite le puits j. En intégrant des notions de robustesse et de stabilité des solutions, ces modèles serviront de base à la planification de réparations de pannes dans un contexte dynamique.

Références

[1] D. J. Aloise, D. Aloise, C. T. M. Rocha, C. C. Ribeiro, J. C. Ribeiro Filho, L.S.S. Moura, Scheduling workover rigs for onshore oil production, *Discrete Applied Mathematics*, v. 154 (5), p. 695–702, 2006.

[2] P. Toth, D. Vigo, The vehicle routing problem, *SIAM* Monographs on Discrete Mathematics and Applications, 2002, Philadelphia.