

Problèmes couplant la sélection de maintenances et les tournées de techniciens

Florian Delavernhe¹, Bruno Castanier¹, Christell Gueret¹, Jorge E. Mendoza²

¹ Univ Angers, LARIS, SFR MATHSTIC, F-49000 Angers, France. {florian.delavernhe, bruno.castanier, christelle.gueret}@univ-angers.fr

² HEC Montréal, CIRRELT, Canada. jorge.mendoza@hec.ca

1 Introduction

Le regroupement d'opérations de maintenance est une problématique visant à économiser des ressources (financières ou temporelles) tout en assurant un niveau donné de performance local d'un ensemble de machines. Cela est d'autant plus pertinent lorsque l'on considère des machines distribuées géographiquement, où le déplacement d'un technicien pour maintenir une machine entraîne un coût non-négligeable. Dans ce cas-là, de fortes économies sont faites lorsque l'on prévoit à l'avance les tournées des techniciens. La littérature sur ce sujet se focalise sur le calcul de tournées permettant aux techniciens d'effectuer les maintenances aux alentours de dates "cibles" [1], et de maintenances soit correctives soit préventives [2]. A notre connaissance, il n'existe pas de recherche associant la sélection des maintenances (choisir le type de maintenance, définir la date, ...) avec la création des tournées. Dans ce travail, nous abordons ce problème, couplant sélection des maintenances et tournée des techniciens.

2 Définition du problème

On considère un ensemble \mathcal{M} de machines, dispersées géographiquement, et un ensemble \mathcal{N} de techniciens basé au dépôt d . $d_{i_1, i_2}, \forall (i_1, i_2) \in (\mathcal{M} \cup \{d\})^2$ est le temps de déplacement donné pour se déplacer entre i_1 et i_2 . L'horizon de temps est discrétisé en un ensemble \mathcal{T} de périodes, et chaque technicien à un temps disponible E pour intervenir sur les machines et se déplacer lors de chaque période. Chaque machine est dans un état $k \in \mathcal{K} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ de dégradation possible, le premier état (c.-à.-d. 1) étant équivalent à une machine neuve et le dernier à une machine défaillante. On suppose donnée la matrice des probabilités de transition entre états. On note $p_{k_1 k_2}, \forall (k_1, k_2) \in \mathcal{K}^2$ la probabilité de transition de l'état k_1 à k_2 . Chaque machine, lors de chaque période, à une probabilité pour chaque état de dégradation, représentée par $w_{it}^k, \forall i \in \mathcal{M}, \forall j \in \mathcal{N}, \forall k \in \mathcal{K}$. Chaque technicien $j \in \mathcal{N}$ dispose d'une compétence c_j représentant l'état de dégradation le plus élevé sur lequel peut intervenir le technicien j (i.e., le technicien ne peut intervenir que sur une machine se trouvant dans un état $k \in \mathcal{K}, k \leq c_j$). Enfin, chaque intervention de maintenance a pour objectif de remettre la machine dans un état cible $k_1 \in \mathcal{K}$. Cependant, l'état $k_2 \in \mathcal{K}$ de la machine à l'arrivée du technicien n'est pas connu à l'avance, seulement sous forme de probabilités. C'est à dire que, lorsqu'un technicien arrive sur une machine pour la remettre dans un état cible k_1 , il y a trois possibilités : (i) l'état k_2 de la machine est meilleur (ou similaire) que l'état cible k_1 ($k_1 \geq k_2$), (ii) l'état de la machine est trop dégradé et n'entre pas dans les compétences du technicien ($k_2 > c_j$), (iii) la machine est dans un état où le technicien va intervenir ($k_1 < k_2 \leq c_j$). Le coût d'une intervention de maintenance sur une machine, et le temps passé par le technicien, dépend de l'état de la machine et de l'état cible dans lequel on souhaite la remettre. $o_{k_1 k_2}, \forall (k_1, k_2) \in \mathcal{K}^2, k_1 > k_2$ est le temps d'opération de maintenance nécessaire pour passer une machine de l'état k_1 à l'état k_2 . De manière similaire, $r_{k_1 k_2}, \forall (k_1, k_2) \in \mathcal{K}^2, k_1 > k_2$ est le coût d'une telle opération.

Le coût de déplacement est de C^{tr} par unité de temps et le coût d'une période de panne (machine en état 6) est C^f . La fonction objectif est donc la minimisation de l'espérance de l'ensemble des contributions (déplacements, panne et maintenance préventive).

Le problème est donc de sélectionner les maintenances à effectuer, et de prévoir des tournées pour les techniciens lors de chaque période qui incorporent les maintenances. Une maintenance étant un tuple (i, j, t, k) , $i \in \mathcal{M}$, $j \in \mathcal{N}$, $t \in \mathcal{T}$, $k \in \mathcal{K}$, $k \leq c_j$. Il s'agit d'une intervention par le technicien j sur la machine i , à la période t pour la remettre en état k .

3 Méthode de résolution

Le problème n'est pas adapté pour une résolution exacte à cause de sa complexité. Pour palier à ce problème, nous proposons une méthode de résolution heuristique, dont l'objectif est de construire une solution à l'aide d'utilités calculées pour chaque maintenance. Ces utilités sont mises à jour en fonction de la solution courante.

La méthode commence par une solution vide (aucune maintenance prévue) comme solution courante. Tant que cela possible, une maintenance est ajoutée dans la tournée d'un technicien à l'aide d'une méthode de best-insertion. La maintenance ajoutée est sélectionnée en fonction de son utilité, qui représente le gain dans la fonction objectif entre la solution courante et la solution qui est obtenue après ajout.

Nous proposons plusieurs méthodes de recherches locales qui seront régulièrement appelées pour améliorer notre solution courante et sortir de minima locaux. Ces méthodes sont : (i) transfert ou échange de maintenances entre techniciens, (ii) utilisation d'une heuristique pour TSP afin de réduire le coût des tournées de chaque technicien, (iii) changement des opérations de maintenance (modification de l'état cible) pour réduire le temps d'opération d'un technicien et permettre de libérer suffisamment de temps pour ajouter de nouvelles maintenances dans sa tournée.

Afin d'étayer les performances de notre méthode, nous l'avons testée sur de nombreuses instances générées aléatoirement pour représenter des cas d'applications réalistes. La scalabilité de la méthode est ainsi rigoureusement démontrée. La qualité des solutions produites est notamment mise en avant en les comparant avec les résultats obtenus par un solveur exact (CPLEX), partant de nos solutions et avec un budget temps important.

Références

- [1] Nguyen, Ho Si Hung and Do, Phuc and Vu, Hai-Canh and Iung, Benoit, *Dynamic maintenance grouping and routing for geographically dispersed production systems*, Reliability Engineering & System Safety, 185, p. 392–404, 2019.
- [2] López-Santana, Eduyn and Akhavan-Tabatabaei, Raha and Dieulle, Laurence and Labadie, Nacima and Medaglia, Andrés L, *On the combined maintenance and routing optimization problem*, Reliability Engineering & System Safety, 145, p. 199–214, 2016.