



**HAL**  
open science

# Problèmes d'ordonnancement sur des machines parallèles avec des périodes de maintenance et un effet de détérioration : Minimisation de la charge totale des machines

Ahmed Gara-Ali, Marie-Laure Espinouse, Gerd Finke

## ► To cite this version:

Ahmed Gara-Ali, Marie-Laure Espinouse, Gerd Finke. Problèmes d'ordonnancement sur des machines parallèles avec des périodes de maintenance et un effet de détérioration : Minimisation de la charge totale des machines. 16ème conférence ROADEF Société Française de Recherche Opérationnelle et Aide à la Décision, Feb 2015, Marseille, France. hal-01222661

**HAL Id: hal-01222661**

**<https://hal.science/hal-01222661>**

Submitted on 2 Nov 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Problèmes d’ordonnancement sur des machines parallèles avec des périodes de maintenance et un effet de détérioration : Minimisation de la charge totale des machines

Ahmed Gara-Ali, Marie-Laure Espinouse, Gerd Finke

Univ. Grenoble Alpes, G-SCOP, F-38000 Grenoble, France

CNRS, G-SCOP, F-38000 Grenoble, France

{Ahmed.Gara-Ali, Marie-Laure.Espinouse, Gerd.Finke}@g-scop.grenoble-inp.fr

**Mots-clés :** *Machines parallèles, ordonnancement, maintenance, charge totale des machines.*

## 1 Introduction

La planification de périodes d’indisponibilité, souvent considérées comme des périodes de maintenance, est très importante et vise à améliorer l’efficacité de l’entreprise en termes de coûts de production et de délais de livraison. Par exemple dans [1], la planification de maintenances permet de réduire les temps d’arrêt de 13,64% et d’augmenter les bénéfices de l’entreprise. Cependant les problèmes classiques d’ordonnancement considèrent que les machines sont toujours disponibles. Or cette hypothèse n’est pas toujours vraie. Depuis le début des années 1990, plusieurs travaux ont été menés sur l’ordonnancement en présence de périodes d’indisponibilité. La plupart de ces travaux considère que la durée de ces périodes est fixe [2, 3]. L’étude de l’ordonnancement simultané de tâches et de maintenances de durée variable a été initiée par Kubzin et Strusevich en 2005 [4]. En effet, dans certains secteurs d’activité, plus la période séparant deux maintenances est importante plus la maintenance à réaliser est lourde et donc plus sa durée est importante [4, 5].

D’autre part, l’état de la machine peut affecter les performances de la production. Ces variations sont généralement modélisées par un effet de détérioration ou un effet d’apprentissage.

Dans l’ordonnancement avec un effet de détérioration, introduit initialement par Browne et Yechiali (1990) [6], plus la date d’exécution d’une tâche est tardive plus la durée d’exécution est importante. Cette durée est expliquée par le vieillissement de la machine. D’où l’importance des périodes de maintenance pour contrer la détérioration de la machine et pour rétablir les conditions initiales de la machine. Dans la littérature, la détérioration de la machine est exprimée par plusieurs fonctions analytiques.

Nous considérons dans ce travail que durant la période de fonctionnement les machines suivent un effet de détérioration. Les activités de maintenance permettent de contrer l’effet de détérioration, d’éviter les pannes et de rétablir les conditions initiales de la machine. Dans ce papier, nous nous intéressons aux problèmes d’ordonnancement sur des machines parallèles en présence d’un effet de détérioration et de maintenances de durée variable, dont le but est de minimiser la charge totale des machines ( $\sum_{l=1}^m C_{max}^l$  avec  $m$  le nombre de machines).

## 2 Description du problème

Le problème peut être décrit comme suit : un ensemble  $J$  de  $n$  tâches à ordonnancer sur  $m$  machines parallèles non-liées (le nombre des machines est fixe). Toutes les tâches sont disponibles à l’instant zéro et la préemption n’est pas autorisée.

Contrairement aux problèmes antérieurs, dans cette étude nous considérons un modèle générale pour la détérioration (pas de fonctions spécifiques  $p_{ljr}$ ) tel que :

$$p_{lj1} \leq p_{lj2} \leq \dots \leq p_{ljn}, \quad j = 1 \dots n, \text{ et } l = 1 \dots m \quad (1)$$

avec  $p_{ljr}$  : la durée de la tâche  $j$  ordonnancée dans la position  $r$  sur la machine  $M_l$ .

Pour contrer la détérioration, chaque machine subit plusieurs activités de maintenance durant la période d'ordonnancement, avec  $k$  le nombre total des maintenances. On considère que la machine revient à son état initial après une période de maintenance. Dans cette étude nous utiliserons un modèle de maintenance général qui englobe les modèles utilisés dans les travaux antérieurs (le modèle avec une durée qui suit une fonction linéaire et le modèle avec une durée constante).

L'objectif est de trouver simultanément le nombre et les positions optimales de maintenances sur chaque machine et la séquence des tâches telles que la somme des durées de l'ordonnancement sur chaque machine (TML : The Total Machine Load  $TML = \sum_{l=1}^m C_{max}^l$ ) est minimisée.

En utilisant la notation de Graham, le problème peut être défini comme suit  $R_m|p_{ljr}, ma|TML$ .

### 3 Résultats

Nous utilisons une modélisation basée sur les problèmes d'affectation linéaire et d'affectation rectangulaire. Il est montré que, pour un nombre de maintenances donné  $k$ , le problème  $R_m|p_{ljr}, ma|TML$  est résolu avec une complexité  $O(n^3)$ ,  $n$  est le nombre des tâches.

Pour trouver le nombre optimal de maintenances (dans ce cas  $k$  est une variable de décision), nous avons montré que le problème a une complexité  $O(n^{m+3})$ . Dans [5], les auteurs ont étudié un problème réduit avec une fonction de détérioration spécifique et une maintenance de durée constante. Ils ont démontré que le problème est polynomial avec une complexité  $O(n^{m+3})$ . Donc, dans cette étude, nous généralisons le résultat de l'article [5].

Ensuite, un cas particulier a été étudié, lorsque la fonction de détérioration est sous la forme :  $p_{ljr} = p_{lj}g(r)$ , avec  $g(r)$  le facteur de détérioration et  $p_{lj}$  la durée standard de la tâche  $j$  ordonnancée sur la machine  $M_l$ . Un algorithme de résolution est proposé de complexité  $O(n \log n)$ .

### 4 Conclusions et perspectives

Les investigations réalisées dans cet article, nous ont permis d'élaborer une méthode de résolution polynomiale pour des problèmes d'ordonnancement sur des machines parallèles non-liées avec un effet de détérioration général dont l'objectif est la minimisation de la somme des durées totales de l'ordonnancement sur chaque machine.

Nous pouvons repérer un certain nombre de points en suspens, qui méritent d'être l'objet d'études ultérieures tels que les problèmes d'ordonnancement en tenant compte de la disponibilité des ressources de maintenance (ressources partagées ou limitées).

### Références

- [1] R. Singh, S. Arvinderjit, Maintenance planning and control of hand tools unit in India : a case study. *In. J. Indian Cult. Bus. Manag.* 7(1) : 109-132, 2013.
- [2] Y. Ma, C. Chu, C. Zuo, A survey of scheduling with deterministic machine availability constraints. *Comput. Ind. Eng.* 58(2) : 199-211, 2010.
- [3] G. Schmidt. Scheduling with limited machine availability. *Eur. J. Oper. Res.* (1) 1-15, 2000.
- [4] M. A. Kubzin, V. A. Strusevich, Planning Machine Maintenance in Two-Machine Shop Scheduling. *Oper. Res.* 54(4) : 789-800, 2005.
- [5] D.-L. Yang, T.C.E. Cheng, S.-J. Yang, C.-J. Hsu, Unrelated parallel-machine scheduling with aging effects and multi-maintenance activities. *Comp. Op. Re.* 39(7) : 1458-1464, 2012.
- [6] S. Browne, U. Yechiali, Scheduling Deteriorating Jobs on a Single Processor. *Operations Research.* 38(8) : 468-498, 1990.