

Job-shop Flexible sous contrainte énergétique

Damien Lamy¹, Sylverin Kemmoé-Tchomté², Nikolay Tchernev¹

¹ LIMOS UMR CNRS 6158, Université Blaise Pascal
Complexe scientifique des Cézeaux 63173 AUBIERE, France
{lamy, tchernev}@isima.fr

² CRCGM EA 3849, Université d'Auvergne, 63000 Clermont-Ferrand, France
{Sylverin.KEMMOE_TCHOMTE}@udamail.fr

Mots-clés : *Programmation linéaire, Job-shop Flexible, Consommation énergétique.*

1 Introduction

Les systèmes flexibles de production sont très répandus dans l'industrie [1] et la conception d'usines environnementalement responsables constituent un enjeu important [2]. Dans ce contexte, un système de production de type Job-shop Flexible où est considéré un seuil de consommation à ne pas dépasser est modélisé sous forme de programme linéaire. Dans le problème, chaque opération a un profil de puissance qui lui est propre, composé d'un pic de consommation en début d'usinage, comme c'est le cas pour les opérations de fraisage ou de perçage. La modélisation prend également en compte l'extinction des machines pour favoriser des ordonnancements plus compétitifs; en effet, il peut être intéressant d'éteindre certaines machines lorsqu'elles ne sont pas utilisées, comme des fours par exemple, dont le maintien en température peut être coûteux.

2 Problème du Job-shop Flexible avec Pics de Consommation

Le Job-shop Flexible sous contraintes de pics de consommation énergétique peut être défini comme suit : un ensemble fini J de j jobs doit être ordonnancé. Chaque job $\{J_i\}_{i=1}^j$ est composé d'une séquence de o_i opérations. Il y a donc $n = \sum_{i=1}^j o_i$ opérations à ordonnancer. Une opération est notée $\{O_i\}_{i=1}^n$. Chaque opération O_i peut être traitée par une machine $m_{i,k}$ issue d'un ensemble de M_i machines possibles pour l'opération. En fonction de la machine m sélectionnée, chaque opération O_i a une durée $p_{i,m}$. Chaque opération O_i admet deux types de consommation énergétique en fonction de la machine choisie : une consommation élevée (pic) $P_{i,m}^1$ en début de traitement et une consommation nominale $P_{i,m}^2$ ensuite. Ces puissances étant différentes, un découpage en sous-opérations est effectué. Chaque sous opération a une puissance requise qui lui est propre pendant la durée de traitement correspondante. Ainsi, le temps de traitement d'une opération est renommé $\{p_{i,k,m}\}_{k=\{1,2\}}$. Afin de préserver la non-préemption des opérations, une contrainte de type no-wait est ajoutée entre sous-opérations d'une même opération d'usinage. Enfin, une contrainte de capacité énergétique P_{max} à ne pas dépasser est considérée.

Dans le problème étudié, les machines peuvent également être éteintes ou allumées. Comme il n'est pas possible de savoir à l'avance combien d'opérations vont être affectées à chaque machine, le processus d'allumage/extinction est ajouté à chaque opération. Deux nouvelles sous-opérations sont

donc prises en compte dans la modélisation d'une opération, et les temps de traitement deviennent $\{p_{i,j,k}\}_{j=\{0,1,2,3\}}$ où $j=0$ et $j=3$ correspondent aux sous-opérations d'allumage/extinction. Ces opérations ont également une consommation énergétique $\{P_{i,m}^k\}_{k=\{0,3\}}$. Dans le cas où aucun allumage/extinction n'intervient, alors pour $k=\{0,3\} : P_{i,m}^k = 0$ et $p_{i,k,m} = 0$. L'objectif du problème est de trouver un ordonnancement qui minimise le Makespan en respectant P_{max} tout au long de l'horizon de temps. Dans la Fig. 1, deux exemples simples sur un problème avec 3 machines et 2 Jobs ayant chacun 2 opérations sont proposés: l'un prenant en compte les contraintes d'allumage/extinction (ON/OFF), et l'autre ne prenant en compte que l'allumage (ON).

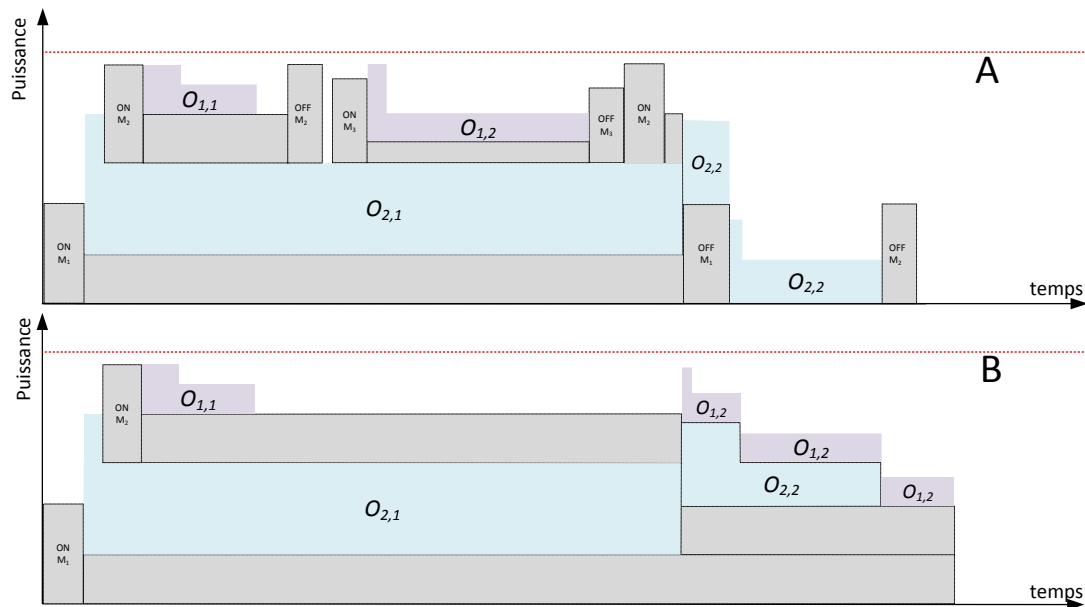


FIG. 1 - Deux ordonnancements dans un Job-shop Flexible avec et sans extinction des machines

Dans la Fig. 1(A), il apparaît que lorsque les machines peuvent être éteintes, il est possible de planifier certaines tâches plus tôt ($O_{1,2}$). Lorsque ce n'est pas le cas, il peut être préférable de planifier une opération sur une machine différente même si la durée de traitement totale est plus longue sur la nouvelle machine. Dans B, c'est le cas de l'opération $O_{1,2}$ qui est affectée à la machine M_1 plutôt que sur M_3 (A), ce qui permet de ne pas démarrer la machine et qui résulte en un makespan plus faible.

3 Conclusions et perspectives

Dans ce travail un modèle linéaire est proposé pour le problème du job shop flexible avec des contraintes énergétiques. Le modèle mathématique permet la résolution d'instances de petites tailles. L'utilisation de programmation par contraintes ou d'une métaheuristique semblent appropriées pour des instances de grande taille et vont constituer la suite de ces recherches.

Références

- [1] Oleh Sobeyko and Lars Mönch. *Heuristic approaches for scheduling jobs in large-scale flexible job shops*. Computers & Operations Research 68: 97-109, 2016.
- [2] Adriana Giret, D. Trentesaux, and V. Prabhu. *Sustainability in manufacturing operations scheduling: A state of the art review*. Journal of Manufacturing Systems 37: 126-140, 2015.