Planification de production avec coûts énergétiques

Mustapha Haouassi[1], Chloé Desdouits[23], Rodolphe Giroudeau[3], Claude Le Pape[2]

[1] Université de Tours, LI, 37200 Tours, France
{mustapha.haouassi}@etu.univ-tours.fr

[2] Schneider Electric Industries SAS, 38 TEC, 38050 Grenoble Cedex 09, France
{chloe.desdouits,claude.lepape}@schneider-electric.fr

[3] Lirmm de Montpellier, Maore, 34000, France
{rodolphe.giroudeau}@lirmm.fr

Mots-clés : *optimisation de l'énergie, fonction linéaire par partie, formulations time-based, ordonnancement*

1 Introduction

De nos jours, la gestion de la consommation électrique constitue un enjeu majeur pour la compétitivité d'une entreprise. En effet, les coûts électriques ne cessent d'augmenter et la demande d'émerger[1]. Il y a deux principales façons de réduire la facture électrique : réduire la consommation en investissant sur des machines plus efficaces ou ordonnancer les activités de production dans les fenêtres de temps durant lesquelles l'électricité coûte moins cher. Le travail suivant s'intéresse à la deuxième stratégie. Une forme générale de la fonction de coûts électriques est considérée : L'horizon de l'ordonnancement est partitionné en calendriers de temps, et dans chaque calendrier, le coût instantané en électricité est fonction linéaire par partie de la consommation instantané du système (voir figure 2). Cette fonction traduit bien la tarification économique. En effet, ce type de tarifs pénalise les pics de puissance au-dessus de certains seuils en introduisant un coût fixe de dépassement de ces seuils et en augmentant les coûts variables. Cette fonction permet aussi de mieux régulariser le réseau en pénalisant les pics de puissance dans les périodes cruciales (périodes de temps pleins par exemple). Afin d'étudier l'impact de la gestion de l'énergie, un cas pratique a été considéré. Il s'agit d'une usine de Schneider Electric qui fabrique des armoires électriques (qu'on appellera α). La politique habituelle de l'entreprise est de faire du "No stock" et du "Just in time". L'approche adopté dans ce travail afin d'avoir un peu de flexibilité dans l'ordonnancement sans compromettre les dates de livraison est d'introduire des unités de stockage entre les lignes de production.

2 Modélisation du problème

L'usine α reçoit un ensemble de demandes $\mathcal{D}$. Une demande $d \in \mathcal{D}$ est définie par un matériel final à produire et sa quantité, une date de livraison ainsi une pénalité unitaire de retard. Afin de satisfaire une demande d, un graphe de précédence (anti-arborescence) G_d est mis en place. Les sommets correspondent aux activités et les arcs portent en eux un ensemble d'informations : le délai d'attente entre les activités, le matériel qui circule dans cet arc et sa quantité. La figure 1 donne une illustration d'un graphe de précédences. Les lignes de productions correspondent à des machines de capacité unitaire, et entre ces différentes lignes ainsi qu'à la sortie de ligne d'assemblage, sont mise en place des unités de stockage permettant de stocker les matériaux intermédiaires et les matériaux finaux avec des coûts de stockage pour chaque matériel. L'horizon de temps $\mathcal{T}$ est partitionné en calendriers de temps. Dans chaque calendrier $B_l \in \mathcal{B}$, une fonction en escalier du coût en électricité instantanée en fonction de la consommation instantanée est donnée (figure 2). L'ensemble $\mathcal{I}_l$ partitionne la puissance

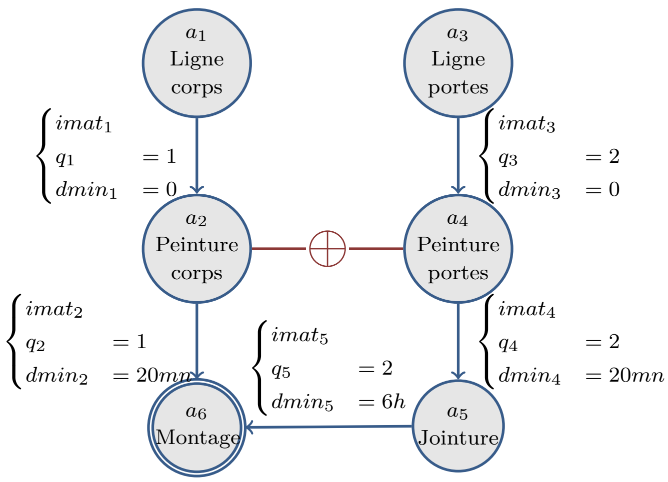

FIG. 1 – Graphe de précedences G_d

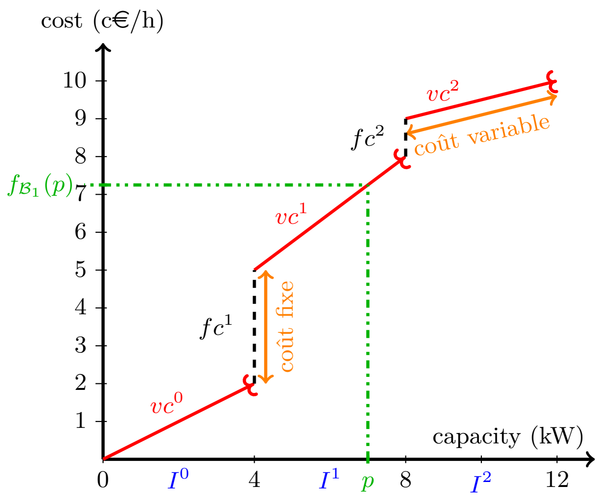

FIG. 2 – Fonction de coût électrique dans un calendrier $\mathcal{B}_l$.

maximale. Dans chaque intervalle de capacité $I^h \in \mathcal{I}_l$ est défini un coût variable ainsi qu'un coût fixe de dépassement de la borne supérieure de l'intervalle. Si p est la capacité requise par le système en t, alors le coût en électricité associé $f_{\mathcal{B}_l}(p)$ et par conséquent le coût total en électricité $\mathcal{E}$ sont donnés par :

$$f_{\mathcal{B}_l}(p) = \sum_{I^h \in I_l | p > cmin^h} [fc^h + vc^h \times (\min(cmax^h, p) - cmin^h)] \qquad \mathcal{E} = \sum_{l=1}^{l} \int_{\mathcal{B}_l^{inf}}^{\mathcal{B}_l^{sup}} f_{\mathcal{B}_l}(power(t))\, \mathrm{d}t$$

Le problème d'optimisation consiste à déterminer $\forall a_i \in \mathcal{A}$, st_i une date de début et et_i une date de fin tout en respectant les graphes de précédences, les contraintes de disjunctivité et en minimisant les coûts de stockage, de retard sur les demandes et d'électricité.

2.1 Complexité et approches de résolution

Le problème considéré Π est un problème flow-shp avec précedences, fenêtres de temps, due date et une ressource énergétique. L'objectif est un trade-off entre les coûts de retard, les coûts de stockage et les coûts en électricité. La notation de Graham correspondante est la suivante :

$$\Pi : F|res1, in - tree, d_j, l_j| \sum_j (w_j^E E_j + w_j^T T_j) + \mathcal{E}$$

Dans [3], la $\mathcal{NP}$-complétude est prouvée pour différents problèmes de flow-shop. En particulier, $F2|p_{ij} = 1, chains| \sum_j (T_i)$ est $\mathcal{NP}$-complet. Vue que Π est une généralisation du problème précédent, Π est donc $\mathcal{NP}$-complet. Les approches adoptées sont inspirées des formulations indexées sur le temps [2]. La principale contribution est la modélisation des coûts électriques ainsi que l'évolution des stocks. Les tests réalisés démontrent l'impact de la gestion de l'énergie dans la réduction des coûts.

Références

[1] M. H. Albadi and E. El-Saadany *A summary of demand response in electricity markets. Electric power systems research*, 2002, vol., no.11, pp. 1989–1996, 2008.

[2] A. A. B. Pritsker, L. J. Waiters, and P. M. Wolfe, *"Multiproject scheduling with limited resources : A zero-one programming approach"*, Management science, vol. 16, no. 1, pp. 93–108, 1969.

[3] Brucker, Peter and Knust, Sigrid, *"Complexity results for single-machine problems with positive finish-start time-lags"*, Computing, , vol. 63, no. 4, pp. 299–316, 1999.