Approche de résolution conjointe du dimensionnement et de l'ordonnancement d'un flow shop hybride à plusieurs étages

Tarek Chaari, Sondès Chaabane, Taicir Loukil, Damien Trentesaux

Approche de résolution conjointe du dimensionnement et de l'ordonnancement d'un flow shop hybride à plusieurs étages

T. Chaari[1], S. Chaabane[2], T. Loukil[1] and D. Trentesaux[2]

1. Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Sfax, Route de l'aérodrome km 4.5, 3018 Sfax- Tunisie
Tarek.Chaari@meletu.univ-valenciennes.fr, Taicir.Loukil@fsegs.rnu.tn,

2. LAMIH (CNRS), Université de Valenciennes et du Hainaut Le Mont-Houy, 59313 Valenciennes Cedex
sondes.chaabane@univ-valenciennes.fr, damien.trentesaux@univ-valenciennes.fr

Mots-clefs : Dimensionnement, Ordonnancement, Flow-Shop Hybride, Optimisation, programmation linéaire à variables mixtes.

1 Problématique de dimensionnement d'un flow shop hybride

La réduction de plus en plus rapide des cycles de développement/déploiement des systèmes de production (voir par exemple le taux de rotation des produits en téléphonie mobile, en micro-processeurs, en assemblage informatique, automobile, etc.) rend la phase de conception de ceux-ci de plus en plus cruciale dans le cycle de vie des systèmes de production.

Nous nous intéressons dans cet article plus particulièrement à un aspect de la conception d'un système de production, celui du dimensionnement d'un atelier de type flow shop hybride. Le dimensionnement consiste ici à fixer le nombre de chaque type de ressources ou d'opérateurs nécessaires pour réaliser une bonne performance en exploitation [1].

La principale problématique du dimensionnement est la suivante : si nous définissons un nombre trop élevé de ressources, des investissements inutiles risquent d'être réalisés. Si au contraire nous en définissons un nombre trop faible, le système ne pourra pas produire les quantités désirées dans les délais souhaités, ce qui constitue également un risque de perte financière (pénalité de retard, délais de production trop long comparés à la concurrence, etc.). A ceci nous pouvons ajouter des contraintes de plus en plus fortes en terme de respect de l'environnement et de développement durable (approche « lean » de la production). Par conséquent, le dimensionnement doit être réalisé au plus juste.

Dans ce cadre, notre approche consiste à prendre en compte des contraintes d'exploitation future et potentielle en phase de dimensionnement. Ceci revient donc à prendre la décision de dimensionnement conjointement avec la définition d'un ou des ordonnancements potentiels soumis à des objectifs de performances (niveau de stockage, respect des délais, utilisation rationnelle des ressources, etc.). Ce type d'approche est répandu dans d'autres domaines en particulier, celui de la conception « produit » sous différents vocables, notamment le « design for X » : design for manufacturing, etc.

Nous présentons un programme linéaire à variables mixtes qui consiste à résoudre simultanément le problème de dimensionnement et celui de l'ordonnancement. Plus précisément, dans le cadre de cet article, étant donné que nous nous intéressons au problème de Flow-Shop Hybride, l'objectif sera ici de minimiser conjointement le nombre de machines utilisées dans chaque étage et la date d'achèvement des travaux en utilisant différents jeux de poids attribué à chacun de ces sous-objectifs. Un des domaines d'application est le milieu hospitalier dans le cadre de dimensionnement des blocs opératoires en tenant compte des performances des ordonnancements (plannings opératoires types).

2 Formulation du problème

Nous formulons le problème sous la forme d'un programme linéaire à variables mixtes

Données et paramètres

k, $M^t_{\max}$, n : Respectivement nombre d'étages, nombre maximal de machines parallèles dans l'étage et le nombre de jobs;

C_{jt} : Temps d'achévement du job j dans l'étage t; P_{jt} : Temps d'exécution du job j dans l'étage t;

$C_{\max}$: Makespan; B : Une grande valeur positive; λ : Une valeur donnée par l'utilisateur $(\lambda \in [0,1])$

Variables de décision

$X_{ijlt} = 1$ si le Job j est exécuté immédiatement avant le Job l sur la machine i à l'étage t; 0 sinon

$X_{i0lt} = 1$ si le Job l est exécuté le premier sur la machine i à l'étage t; 0 sinon

$X_{ij(n+1)t} = 1$ si le Job j est exécuté le dérnier sur la machine i à l'étage t; 0 sinon

$Y_{it} = 1$ si la machine i est utilisée dans l'étage t; 0 sinon

Le problème est formulé comme suit :

$$Min \left(\lambda * Ecart(C_{\max}) + (1-\lambda) * Ecart'\left(\sum_{i=1}^{M_{\max}^t} \sum_{t=1}^{k} Y_{it} \right) \right) \qquad (1)$$

Avec : $$Ecart(C_{\max}) = \frac{C_{\max} - \underset{j=1,..,n}{Max}\left(\sum_{t=1}^{k} P_{jt} \right)}{\sum_{j=1}^{n} \sum_{t=1}^{k} P_{jt} - \underset{j=1,..,n}{Max}\left(\sum_{t=1}^{k} P_{jt} \right)}$$ et : $$Ecart'\left(\sum_{i=1}^{M_{\max}^t} \sum_{t=1}^{k} Y_{it} \right) = \frac{\sum_{i=1}^{M_{\max}^t} \sum_{t=1}^{k} Y_{it} - k}{(n*k) - k}$$

Sujet aux contraintes :

$$\sum_{i=1}^{M_{\max}^t} \sum_{j=0}^{n} X_{ijlt} = 1 \qquad \forall t = 2,...,k \quad \forall l = 1,2,...,n \qquad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{M_{\max}^t} \sum_{l=1}^{(n+1)} X_{ijlt} = 1 \qquad \forall t = 1,2,...,k \quad \forall j = 1,2,...,n \qquad (3)$$

$$\sum_{l=1}^{n} X_{i0lt} = Y_{it} \qquad \forall t = 1,2,...,k \quad \forall i = 1,2,...,M_{\max}^t \qquad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij(n+1)t} = Y_{it} \qquad \forall i = 1,2,...,M_{\max}^t \quad \forall t = 1,2,...,k \qquad (5)$$

$$\sum_{j=0}^{n} X_{ijlt} = \sum_{j=1}^{(n+1)} X_{iljt} \quad \forall i = 1,2,...,M_{\max}^t \quad \forall t = 1,2,...,k \quad \forall l = 1,2,...,n \qquad (6)$$

$$X_{ijlt} \le Y_{it} \qquad \forall i = 1,2,...,M_{\max}^t \quad \forall j = 0,1,...,n \quad \forall l = 1,2,...,(n+1) \quad \forall t = 1,2,...,k \qquad (7)$$

$$X_{ijjt} = 0 \quad \forall i = 1,2,...,M_{\max}^t \quad \forall j = 1,2,...,n \quad \forall t = 1,2,...,k \qquad (8)$$

$$C_{lt} \ge C_{jt} + \sum_{i=1}^{M_{\max}^t} X_{ijlt} P_{lt} + B\left[\sum_{i=1}^{M_{\max}^t} X_{ijlt} - 1 \right] \quad \forall t = 1,2,...,k \quad \forall j = 0,1,...,n \quad \forall l = 1,2,...,n \text{ et } j \ne l \qquad (9)$$

$$C_{jk} \le C_{\max} \qquad \forall j = 1,2,...,n \qquad (10)$$

$$C_{lt} \ge C_{l(t-1)} + P_{lt} \qquad \forall t = 2,...,k \quad \forall l = 1,2,...,n \qquad (11)$$

$$X_{ijlt} \in \{0,1\} \text{ et } Y_{it} \in \{0,1\} \qquad \forall i = 1,2,...,M_{\max}^t \quad \forall j = 1,2,...,n \quad \forall l = 1,2,...,n \quad \forall t = 1,2,...,k \qquad (12)$$

La fonction objectif est de minimiser simultanément l'écart entre le Makespan et la meilleure date d'achèvement des jobs et l'écart entre le dimensionnement obtenu défini par la somme des machines parallèles dans chaque étage et le meilleur dimensionnement (1). L'ensemble de contraintes (2) - (8) assurent que l'exécution sur chaque machine dans chaque étage soit faisable. L'ensemble des contraintes (9)-(11) déterminent le temps d'achèvement de chaque job.

3 Résolution du problème

Le programme linéaire à variables mixtes a été implémenté en langage C++, résolu par le solveur CPLEX 9.1 et testé sur des instances aléatoires avec un nombre d'étages égal à 2, nombre de jobs variant entre 5,7, 8 et 10. Les temps opératoires de ces instances ont été générés aléatoirement dans l'intervalle [3,14] unités de temps.

Au vu des résultats obtenus, cette approche peut fournir des solutions exactes pour des problèmes de petites tailles. Dans le cas où le poids attribué à chaque objectif est le même nous obtenons des solutions dites de « compromis ». Ces solutions de compromis ont permis de minimiser les coûts totaux.

En perspectives nous travaillons sur une approche intégrant des techniques d'optimisation et de simulation dans le cadre d'une démarche méthodologique. Cette approche aura pour objectif de résoudre conjointement le dimensionnement et l'ordonnancement d'un atelier de production dès la phase de conception. Un intérêt sera porté sur l'aspect générique de cette approche et la robustesse du dimensionnement en fonction des aléas possibles en phase d'exploitation.

Références

[1] O.Feyzioglu, H. Pierreval et D. Delflandre, 2005. A simulation based optimization approach to size manufacturing systems. International Journal of Production Research, Vol. 43, N°2, pp. 247-266.