# Reconfiguration des lignes d'usinage de transfert

Fatme Makssoud, Olga Battaïa, Alexandre Dolgui

EMSE-FAYOL (CNRS UMR6158, LIMOS), Ecole des Mines de Saint-Etienne
158, Cours Fauriel, 42023 Saint-Etienne cedex, France
{makssoud, battaia, dolgui}@emse.fr

***Mots-clés** : Lignes de transfert; Reconfiguration; MIP.*

## 1 Description et modélisation du problème

Une ligne de transfert est composée d'une séquence de machines où des blocs d'opérations sont exécutés de façon séquentielle par des têtes d'usinage [1]. Le but de la reconfiguration d'une ligne est de minimiser le coût de passage d'un produit à un autre. Pour ce problème, nous proposons un modèle mathématique qui tient compte des contraintes liées à la réutilisabilité des équipements existants.

| | Définitions |
|---|---|
| *Indices* | |
| $k$ | Indice d'une station, $k=1,\ldots, m$ |
| $q$ | Indice d'un bloc, e.g, pour le bloc $l$ de la station $k$, $q = (k\text{-}1)\, n_0 + l$ |
| $q_0$ | Valeur maximale possible de q, $q_0 = m_0 n_0$ |
| $l$ | Indice des blocs dans la ligne initiale |
| $Q_0^*$ | Valeur maximale possible de $l$ |
| $n_0$ | Nombre maximal de blocks par station |
| $m_0$ | Nombre maximal autorisé de stations |
| *Ensembles* | |
| $N$ | Ensemble des opérations qui sont nécessaires pour l'usinage des nouvelles pièces |
| $N' \in N$ | Ensemble des anciennes opérations, i.e. opérations qui existaient pour la pièce initiale |
| $N_k$ | Ensemble des opérations assignées à la station $k$ |
| $N_{kl}$ | Ensemble des opérations assignées au block $l$ de la station $k$ |
| $Pred(j)$ | Ensemble des prédécesseurs directs de $j \in N$ |
| $B(k)$ | Ensemble d'indices de blocs pour la station $k$, $B(k) = \{(k\text{-}1)\, n_0 + 1,\ldots, kn_0\}$ |
| $Q(j)$ | Ensemble d'indices de blocs $q$ où l'opération $j$ peut être assignée |
| $K(j)$ | Ensemble d'indices de la station $k$ où l'opération $j$ peut être assignée |
| $e$ | Ensemble d'opérations qui représentent un élément de *IS*, *ES* or *EB* |
| $N_q$ | Ensemble d'opérations assignées au bloc $q$ dans la solution initiale |
| *Temps* | |
| $t_j$ | Temps d'exécution de l'opération $j \in N$ |
| $T_0$ | Temps de cycle maximal de la ligne |
| $\tau^b$ | Temps d'activation d'une tête multibroche |
| $\tau^s$ | Temps de chargement / déchargement de la pièce sur une machine |
| *Variables* | |
| $X_{jq}$ | Binaire: 1 si l'opération $i$ est assignée au bloc $q$ dans la nouvelle ligne, 0 sinon |
| $B_{lq}$ | Binaire : 1 si l'ancien bloc $l$ est réutilisé au bloc $q$ de la nouvelle ligne, 0 sinon |

| | |
|---|---|
| $Y_q$ | Binaire: 1 si le bloc *q* existe dans la nouvelle ligne, 0 sinon |
| $Z_k$ | Binaire: 1 si la station *k* existe dans la nouvelle ligne, 0 sinon |
| *Coûts* | |
| $C_1$ | Coût d'une nouvelle machine |
| $C_2$ | Coût d'un nouveau bloc |
| $C_3$ | Bénéfice de réutilisation d'un ancien bloc dans la nouvelle ligne |

L'objectif est de minimiser le coût de la nouvelle ligne :

$$Min\ C(P) = C_1 \sum_{k=1}^{m_0} Z_k + C_2 \sum_{q=1}^{q_0} Y_q - C_3 \sum_{l=1}^{q_0^*} \sum_{q=1}^{q_0} B_{lq},\ with\ C_3 < C_2 < C_1; \quad (1)$$

– Toutes les opérations de *N* doivent être affectées à un seul bloc exactement:

$$\sum_{q \in Q(j)} X_{jq} = 1;\ j \in N; \quad (2)$$

– Contraintes de précédence entre les opérations:

$$\sum_{q' \in Q(i)} q' X_{iq'} \geq \sum_{q \in Q(j)} q X_{jq}; i \in \Pr edD(j);\ j \in N; \quad (3)$$

– Certaines opérations doivent être affectées à la même machine :

$$\sum_{q \in Q(i) \cap B(k)} X_{iq} = \sum_{q \in Q(j) \cap B(k)} X_{jq};\ i, j \in e; e \in IS; k \in K(i); \quad (4)$$

– Certaines opérations ne peuvent pas être affectées au même bloc :

$$\sum_{j \in e} X_{jq} \leq |e| - 1; e \in EB; q \in \bigcap_{j \in e} Q(j); \quad (5)$$

– Certaines opérations ne peuvent pas être affectées à la même machine :

$$\sum_{j \in e} \sum_{B(k) \cap Q(j)} X_{jq} \leq |e| - 1;\ e \in ES; k \in \bigcap_{j \in e} K(j); \quad (6)$$

– Temps d'exécution d'un bloc est égal à l'opération la plus lente du bloc:

$$F_q \geq (t_j + \tau^b) X_{jq},\ j \in N, q \in Q(i); \quad (7)$$

– Tous les blocs d'une machine doivent être exécutés sous le temps de cycle:

$$\sum_{q \in B(k)} F_q \leq T_0 - \tau^s, k = 1,\ 2,\ ...,\ m_0; \quad (8)$$

$$Y_q \geq X_{jq},\ j \in N, q \in Q(j); \quad (9)$$

$$Z_k \geq Y_q, k = 1, 2, ..., m_0, q = (k-1)n_0 + 1; \quad (10)$$

$$Y_{q-1} - Y_q \geq 0, q \in B(k) \setminus \{(k-1)n_0 + 1\}, k = 1, 2, ..., m_0; \quad (11)$$

$$Z_{k-1} - Z_k \geq 0, k = 2, 3, ..., m_0; \quad (12)$$

– Un ancien bloc peut être réutilisé au maximum une fois:

$$\sum_{q=1}^{q_0} B_{lq} \leq 1,\ l = 1, ..., q_0^*; \quad (13)$$

– Un nouveau bloc peut recevoir au maximum un ancien bloc:

$$\sum_{l=1}^{q_0^*} B_{lq} \leq 1,\ q = 1,\ ...,\ q_0; \quad (14)$$

– Dans un ancien bloc, des opérations peuvent être supprimées, mais pas ajoutées :

$$X_{iq} + B_{lq} \leq 1, \forall i \notin N_{kl}, l = 1, ..., q_0^*, q = 1, ..., q_0; \quad (15)$$

Ce modèle a été résolu avec ILOG Cplex, des tests ont été faits pour des cas industriels.

## Références:


[1] O. Battaïa, E. Gurevsky, F. Makssoud, A. Dolgui. Equipment Location in Machining Transfer Lines with Multi-spindle Heads. Journal of Mathematical Modelling and Algorithms, DOI: 10.1007/s10852-012-9196-2, 2012..