

# A propos de la modélisation et le pilotage des systèmes manufacturiers de type HVLV

Imed Nasri<sup>1</sup>, Reda Boukezzoula<sup>2</sup>, Georges Habchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SYMME ; Université de Savoie

<sup>2</sup> LISTIC ; Université de Savoie

{Imed.nasri, Georges.habchi, Reda.boukezzoula}@univ-savoie.fr

**Mots-clés :** *Systèmes manufacturiers de type HVLV (High Variety, Low Volume), Modèle d'ordonnancement et de pilotage (max, +), Optimisation, Commande par Modèle Interne (CMI), Simulation à évènements discrets.*

## 1. Introduction

Il s'agit dans ce papier de développer un modèle d'ordonnancement basé sur des méthodes analytiques permettant la simulation à évènements discrets des systèmes de production assez complexes de type HVLV (High Variety, Low Volume), dont la date de besoin client est un paramètre important, afin de converger plus rapidement vers des solutions quasi-optimales ou optimales.

## 2. Caractéristiques des systèmes manufacturiers de type HVLV

Les systèmes de production de type HVLV sont caractérisés par une grande variété de produits, une demande faible, variable et personnalisée... ce qui implique un temps de production variable et une production qui ne suit pas forcément le takt time. D'où la nécessité de considérer ce type de systèmes comme des SEDs (Systèmes à Evènements Discrets) au contraire de ce qui était mentionné dans quelques recherches antérieures [1] où le flux de production était approximé par un modèle continu (cas d'une production à haute cadence).

## 3. Modèle d'ordonnancement pour les systèmes HVLV

Ce papier met l'accent sur la modélisation quantitative des systèmes manufacturiers de type HVLV dont l'objectif est de satisfaire la demande client. On trouve dans la littérature plusieurs approches pour la modélisation des SdPs dans l'algèbre (max, +). Dans [2], l'auteur a développé un modèle d'ordonnancement (max, +) linéaire qui décrit les relations entre les différentes dates de début des opérations dans le cas d'un job-shop non déterministe (l'ordre des opérations des produits qui nécessitent un traitement sur la même machine n'est pas connu à l'avance). Le modèle proposé ne présente des ordonnancements faisables que dans le cas où on peut satisfaire la date de besoin. Dans le cas contraire il génère des ordonnancements non faisables. Ceci implique les limites d'un tel modèle. Dans [3], les modèles (max, +) proposés ont été générés à partir d'un graphe d'évènements temporisé. Ils traitent le cas des SdPs déterministes avec un seul type de produit.

Dans ce papier, une procédure systématique est présentée pour générer des équations d'évènements temporisées dans l'algèbre (max, +) directement à partir des interconnexions entre les machines d'un SdP HVLV déterministe de type flow-shop généralisé. Les évènements considérés ici correspondent aux dates de début des opérations sur les machines. Il est supposé que la stratégie d'ordonnancement est cyclique (production répétitive : une machine répète un ensemble d'opérations dans le même ordre pendant chaque cycle) [4] et que le lancement de la production se fait selon des MPS (Minimal Part Sets) [5]. On suppose aussi que la séquence des machines visitées par chaque type de produit est connue *a priori*. Pour ce type de système, la dynamique des machines et les matrices d'interconnexion caractérisant le routage des différents produits dans le système sont obtenus directement à partir de sa configuration. Ils sont combinés ensembles pour

obtenir la dynamique totale du SdP donnée par des équations définies dans l'algèbre (max, +) [6] sous la forme suivante :

$$X(k+1) = A \otimes X(k) \oplus B \otimes U(k+1) \quad (1)$$

$$Y(k+1) = C \otimes X(k+1) \quad (2)$$

L'état  $X(k)$  représente ici le vecteur des dates de début des opérations pour les différents  $k^{\text{ème}}$  produits,  $U(k)$  est un vecteur d'entrées externes qui correspondent à la disponibilité des produits dans le système et  $Y(k+1)$  est le vecteur qui correspond aux dates de fin des  $(k+1)^{\text{ème}}$  produits. Une machine ne peut commencer le traitement du produit pour la  $(k+1)^{\text{ème}}$  fois que lorsque le produit à fabriquer est disponible pour la  $(k+1)^{\text{ème}}$  fois et la machine concernée a terminé le traitement des produits du  $k^{\text{ème}}$  cycle. Le modèle obtenu est linéaire dans le sens de l'algèbre (max, +). Il est utile pour l'analyse du comportement du système, pour la simulation et l'application des quelques techniques de contrôle classique en automatique conventionnelle.

#### 4. Application de la commande par modèle interne (CMI)

On propose dans ce papier une méthodologie de pilotage appelée Commande par Modèle Interne (CMI) dont l'objectif est de satisfaire la date de besoin client en tenant compte d'une erreur de modélisation sur les temps opératoires. On considère ici le cas d'un SdP HVLV de type flow-shop déterministe généralisé avec deux machines et deux types de produits P1 et P2 à fabriquer. Les graphiques de la figure (1) représentent le résultat de la simulation de l'exemple traité.

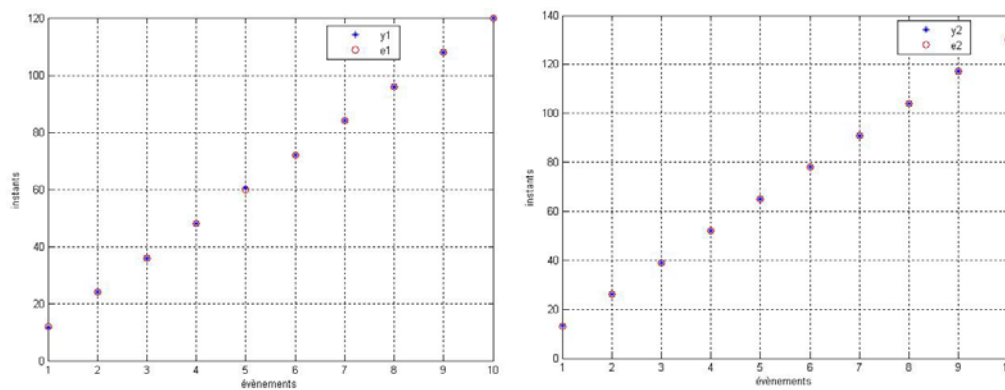


FIG. 1 – Valeurs des références e1 et e2 et des sorties y1 et y2

#### 5. Conclusion

Dans ce papier, nous avons caractérisé les systèmes manufacturiers de type HVLV. Ensuite, nous avons proposé un modèle d'ordonnancement déterministe, basé sur l'algèbre (max, +) permettant de mieux décrire le comportement de ce genre de systèmes. Enfin, nous avons appliqué une commande par modèle interne qui tient compte des erreurs de modélisation portées sur les temps opératoires et dont l'objectif étant de satisfaire la date de besoin clients.

#### Références

- [1] K. Tamani. Développement d'une méthodologie de pilotage intelligent par régulation de flux adaptée aux systèmes de production. Thèse, Université de Savoie, 2008.
- [2] K. Tahboub. A dioid Algebra approach for real-time scheduling and control for flexible manufacturing cells. PhD thesis, Lehigh University (USA), 1992.
- [3] M. Lhommeau. Etude des systèmes à évènements discrets dans l'algèbre (max, +). Thèse, Université d'Angers (LISA), 2003.
- [4] T. E. Lee and M. E. Posner. Performance measures and schedules in periodic job shops. *Operations Research*, 45(1):72–91, 1997.
- [5] J. W. Seo and T. E. Lee. Steady-state analysis and scheduling of cyclic job shops with overtaking. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 14(4):291–318, 2002.
- [6] TF. L. Baccelli, G. Cohen, G. J. Olsder and J. P. Quadrat. Synchronization and linearity. *Wiley New York*, 1992.