

Le Cluster gosci est un réseau de recherche pluridisciplinaire (sciences pour l'ingénieur, sciences humaines et sociales, informatique) sur les processus industriels d'innovation, de conception, de production et de logistique

- ▶ 350 chercheurs dont 120 doctorants
- ▶ 32 laboratoires
- ▶ un budget annuel de 750 K€ en soutien à des projets collaboratifs

#### Nos objectifs

- ▶ Produire de nouvelles connaissances scientifiques et technologiques en privilégiant l'excellence scientifique internationale et la pertinence industrielle
- ▶ Être un pôle d'expertise et de services scientifiques regroupant les entreprises et les universités pour la recherche et la formation

#### Nos domaines d'expertise

- ▶ L'innovation organisationnelle  
Design et éco-conception, lean manufacturing et en réseau, travail collaboratif et PLM, ingénierie des systèmes de soin
- ▶ Le pilotage des systèmes d'innovation  
Diagnostic et performance des systèmes d'innovation, stratégies d'innovation, usages et comportements
- ▶ L'ingénierie avancée  
Modélisation, simulation et optimisation des systèmes de production, de la logistique et de la supply chain, des produits et des technologies de production

#### Contacts

Resp. scientifique : Daniel BRISSAUD  
Chargée de mission : Valérie ROCCHI  
E.mail: cluster-gosci@inpg.fr

Cluster Gospi, Lab. G-SCOP  
46 avenue Félix Viallet  
38031 Grenoble cedex  
33 (4) 76.82.51.68

[www.cluster-gosci.fr](http://www.cluster-gosci.fr)

## Développement d'une méthodologie d'ordonnancement/optimisation adaptée aux systèmes industriels de type HVLV (High-Variety, Low-Volume)

► **Résumé** : Les travaux présentés dans cette thèse portent sur la conception d'une méthodologie d'ordonnancement/optimisation pour les systèmes de production à grande variété de produits et faible densité de flux appelés systèmes HVLV (High-Variety, Low-Volume). Le comportement discontinu des systèmes HVLV peut être caractérisé par la connaissance des dates de début et de fin des activités de production. L'algèbre (max, +) est utilisée pour représenter ce type de systèmes où les relations entre les dates de début des activités nécessitent l'utilisation des opérateurs maximum et addition. D'abord, nous avons développé un modèle d'ordonnancement (max, +) dans lequel des variables de décision ont été introduites afin de résoudre le problème de conflit entre les opérations exécutées sur les machines. Ensuite, nous avons amélioré le modèle pour tenir compte de la maintenance préventive. Deux types de maintenance ont été considérés : la Maintenance Périodique Répétitive (MPR) et la Maintenance Périodique Flexible (MPF). Dans les deux cas, un problème d'ordonnancement non-linéaire sous contraintes a été résolu. Enfin, la méthodologie proposée a été validée par simulation, sur des systèmes HVLV complexes de type job-shop.

### Les systèmes industriels de type HVLV

Dans le domaine de la production industrielle, les tendances actuelles indiquent que les systèmes manufacturiers performants doivent s'adapter rapidement aux fluctuations du marché et aux perturbations internes. Ces exigences imposées par le marché, la concurrence, la qualité ainsi que la densité et la diversité des produits traités entraînent une complexité sans cesse croissante des systèmes de production. Un exemple typique d'un système de production complexe, couramment utilisé, est celui des systèmes HVLV. Ils peuvent présenter une diversité importante de flux avec des séquences variées de production et avec une faible cadence. L'objectif associé à ce type de systèmes est alors d'assurer un traitement le plus varié possible avec un maximum de productivité, au moindre coût et dans les délais. La complexité des systèmes HVLV a fait des méthodes de modélisation et d'optimisation l'un des outils les plus répandus pour l'étude de ces systèmes à un coût raisonnable. Aussi, la question posée et à laquelle il faut répondre est la suivante : *Quel modèle de pilotage faut-il utiliser, sachant qu'il faut qu'il soit le plus adéquat et permettant d'évaluer les performances des systèmes HVLV tels que le makespan et la date de fin en JAT ?*

### Proposition d'un cadre de modélisation adéquat

Afin de répondre à cette problématique, une classification des SdPs ainsi qu'une caractérisation

détaillée des systèmes HVLV ont été menées afin de choisir un outil de représentation pertinent pour ce type de systèmes. Après avoir présenté, les caractéristiques des systèmes HVLV, nous avons établi un état de l'art sur les différents types et formalismes de modélisation des systèmes à événements discret. *Nous nous sommes intéressés à la modélisation quantitative en utilisant l'algèbre (max, +).*

### Développement d'une méthodologie de synthèse d'un système de pilotage

Une extension des applications de l'algèbre (max, +) pour l'ordonnancement des systèmes HVLV à décision non libre sans et avec maintenance a été proposée. Dans ce cadre, nous avons supposé que les opérations de production à réaliser sont strictement non-préemptives. Cette recherche présente une technique de prise de décision dans l'algèbre (max, +) pour l'ordonnancement des systèmes HVLV non libres. En effet, nous avons introduit des variables de décision (de contrôle) dans le modèle (max, +) proposé afin de résoudre le conflit entre les opérations réalisées sur les produits et les activités de maintenance nécessitant un traitement sur la même machine. Dans ce modèle, les dates de début des opérations et des tâches de maintenance sur les machines sont considérées comme des variables d'état du système. Les variables de contrôle déterminent l'ordre des opérations sur les machines et par la suite, les dates de fin des produits et des activités de maintenance. Le modèle proposé est

## Notre offre de recherche appliquée

- ▶ Etudes scientifiques appliquées, Etudes génériques intersectorielles
- ▶ Aide au montage de projets, recherche de partenaires, élaboration du programme de recherche, état de l'art scientifique
- ▶ Diffusion de nouveaux concepts et méthodes, échanges de pratiques, formation

## Nos principaux partenaires

Les établissements d'enseignement supérieur et de recherche

- ▶ Grenoble INP, Université Joseph Fourier, Université Pierre Mendès France, Grenoble Ecole de Management, Université de Savoie
- ▶ INSA de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, Université Lumière Lyon 2, Université Jean Moulin Lyon 3, EMLyon, ECAM, Université Jean Monnet Saint Etienne, Ecole nationale supérieure des Mines de Saint Etienne, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint Etienne, Ecole Supérieure de Commerce de Saint Etienne
- ▶ CNRS, INRA, INRIA, CEA

Les réseaux scientifiques nationaux et internationaux

- ▶ EMIRAcle, GDR Macs, AIP-Primeca

Les acteurs économiques

- ▶ La plate-forme technologique française MÉCAFUTURE-FR et européenne MANUFACTURE
- ▶ Les pôles de compétitivité ARVE-INDUSTRIES et VIAMECA
- ▶ 86 entreprises partenaires dans les projets de recherche

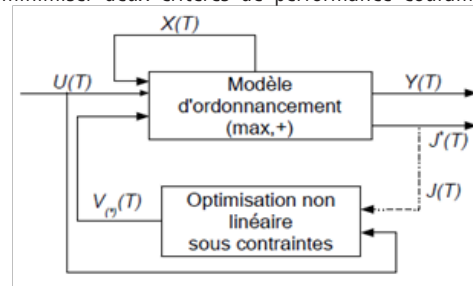
Les organismes de soutien à l'innovation

- ▶ Agence Régionale du Développement et de l'Innovation (ARDI), Thésame

non-linéaire dû à la multiplication (max, +) entre les variables d'état et les variables de contrôle du système.

## Problématique d'ordonnement avec et sans maintenance

Nous avons adopté une méthode d'ordonnement exacte. Elle consiste à établir des contraintes et des conditions sur les variables de décision du modèle afin de générer des ordonnancements faisables. Elle est basée sur une approche d'ordonnement non-linéaire sous contraintes et vise à minimiser deux critères de performance couram-



ment utilisés dans la littérature : le makespan et la somme des avances (date de fin par rapport à la date de besoin).

Une politique de maintenance préventive périodique a été adoptée. Deux cas sont considérés : le cas de la Maintenance Périodique Répétitive (MPR) et le cas de la Maintenance Périodique Flexible (MPF). Dans ce cadre, des contraintes sur les dates de début des opérations de maintenance ont été établies dans l'algèbre (max, +) afin de respecter les périodicités entre les tâches de maintenance.

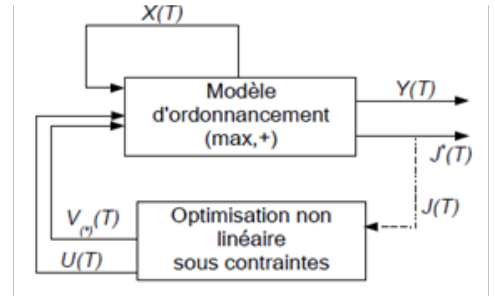


Fig.1 - Schémas de l'optimisation du makespan et de l'avance totale en JAT

## Application de l'approche de pilotage

Après avoir établi le modèle, nous avons mis l'accent sur la faisabilité de la démarche de pilotage proposée sur des cas applicatifs complexes à grande variété de produits. Ainsi, nous avons appliqué l'approche sur 2 exemples job-shop carrés. Le premier est de dimension (6 x 6) et le second est plus complexe de dimension (10 x 10). Les résultats présentés semblent intéressants et montrent que l'intégration de la maintenance dès la phase de conception de l'ordonnement ne remet pas en cause la qualité des solutions construites.

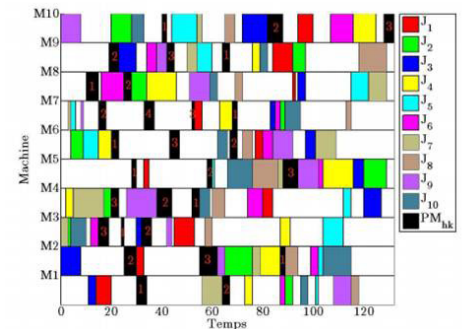


Fig.2- Ordonnement des opérations de production et des tâches de maintenance (10x10)

## Publications

- I. Nasri, G. Habchi, and R. Boukezzoula. Scheduling and control modeling of HVLV systems using max-plus algebra. In 15th International Workshop on Verification and Evaluation of Computer and Communication Systems (VECoS'11), Tunis, Tunisie, September 15-16, 2011. Pages 62-70.
- I. Nasri, R. Boukezzoula, and G. Habchi. A mathematical model for HVLV systems scheduling and optimization with periodic preventive maintenance using (max, +) algebra. In 14th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM 2012), Bucharest, Romania, May 23-25, 2012.
- I. Nasri, G. Habchi, and R. Boukezzoula. An algebraic max-plus model for HVLV systems scheduling and optimization with repetitive and flexible periodic preventive maintenance: just-in-time production. In 9ème Conférence Internationale de Modélisation, Optimisation et SIMulation (MOSIM 2012), Bordeaux, France, June 6-8, 2012.

- ▶ Imed NASRI a soutenu sa thèse de doctorat de l'université de Grenoble, le 09 avril 2013, à Polytech'Annecy sous la direction du Professeur Georges HABCHI et sous la co-direction du Maître de Conférences Reda BOUKEZZOULA.

[www.cluster-gospi.fr](http://www.cluster-gospi.fr)

**Rhône-Alpes** Région

Le cluster Gospi fait partie des 14 Clusters de recherche, définis dans le cadre du Schéma Régional de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (SRESR), en concertation avec les établissements supérieurs et les organismes de recherche. Ils sont mis en place et soutenus par la Région Rhone-Alpes.

---