

Projet MACSI

Modélisation, Analyse et Conduite des Systèmes Industriels

Lorraine

THÈME 4A



*R*apport
*d'**A*ctivité

2001

Table des matières

1	Composition de l'équipe	3
2	Présentation et objectifs généraux	4
3	Fondements scientifiques	4
3.1	Modélisation des systèmes industriels	4
3.2	Synthèse de la commande des systèmes industriels	7
3.3	Évaluation de performances des systèmes à événements discrets	8
3.4	Ordonnancement et gestion des systèmes industriels	8
4	Domaines d'applications	10
5	Logiciels	11
6	Résultats nouveaux	11
6.1	Modélisation et synthèse des systèmes industriels	11
6.1.1	Modélisation des systèmes industriels	11
6.1.2	Synthèse des réseaux de Petri	12
6.1.3	Synthèse de commande à l'aide des réseaux de Petri	12
6.1.4	Supervision des graphes marqués avec transitions incontrôlables	13
6.1.5	Supervision des graphes marqués avec transitions incontrôlables et inobservables	14
6.1.6	Evitement de blocage des réseaux de Petri sauf par dépliage	14
6.2	Évaluation des performances	15
6.2.1	Politique de maintenance des systèmes de production	15
6.3	Organisation et gestion de production	15
6.3.1	Ordonnancement prédictif pour les systèmes de production	15
6.3.2	Ordonnancement prédictif et réactif pour les systèmes de production	16
6.3.3	Gestion des systèmes de production à ressources multiples	17
6.3.4	Architectures de pilotage des systèmes réactifs	18
7	Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)	18
7.1	Projet AEE (Architecture Electronique Embarquée)	18
7.2	Collaboration avec la Société INCOTEC	18
7.3	Contrat avec PREDICT SARL	19
7.4	Projet GROWTH ONE	19
7.5	Projet GROWTH V-chain	20
7.6	Réseau Thématique GROWTH-TNEE	20
8	Actions régionales, nationales et internationales	20
8.1	Actions nationales	20
8.1.1	Action Coopérative MARS	20
8.1.2	PPFs	21

8.1.3	Action GARP (Génie Algorithmique des Réseaux de Petri)	21
8.1.4	Groupe BERMUDES et GOTHA	21
8.1.5	Groupement de Recherche en Productique (GRP)	22
8.1.6	Club génie industriel	22
8.2	Actions internationales	22
8.2.1	Actions de normalisation (CEN, ISO)	22
8.2.2	IFAC-IFIP Task Force	22
8.2.3	CIMOSA Association	23
8.2.4	DG INSO	23
8.2.5	NSF-INRIA	23
8.2.6	Collaboration avec l'Université Laval	23
8.2.7	CBI Grant	23
9	Diffusion de résultats	24
9.1	Animation de la Communauté scientifique	24
9.2	Enseignement	25
9.3	Participation à des colloques, séminaires, tutoriels, invitations	25
9.4	Invitations et personnes reçues	26
9.5	Jurys de thèses et d'habilitations	26
10	Bibliographie	26

MACSI est un projet du LORIA (UMR 7503) commun au CNRS, à l'INRIA, à l'Université Henri POINCARÉ Nancy 1, à l'Université Nancy 2, à l'Institut National Polytechnique de Lorraine.

1 Composition de l'équipe

Les membres du projet MACSI de Metz sont également membres du LGIPM, laboratoire de Génie Industriel et Production Mécanique commun entre l'ENIM, l'ENSAM - CER de Metz et l'Université de Metz.

Les membres du projet MACSI de Nancy sont également membres du LORIA UMR 7503 du CNRS, de l'Université Henri Poincaré Nancy 1, de l'Université Nancy 2 et de l'INPL.

Responsable scientifique

François Vernadat [Professeur à l'Université de Metz, jusqu'au 14 octobre 2001]

Marie-Claude PORTMANN [Professeur à l'École des Mines de Nancy (INPL), à partir du 15 octobre 2001]

Responsable permanent

Xiaolan Xie [Professeur à l'École Nationale d'Ingénieurs de Metz]

Personnel Université

Gülğün Alpan-Gaujál [Maître de conférences, École des Mines de Nancy (INPL), jusqu'au 1er septembre 2001, puis détachée à l'INRIA-Rhône-Alpes dans l'antenne lyonnaise de l'équipe TRIO]

Henri Amet [Maître de Conférences à l'École des Mines de Nancy (INPL)]

Didier Anciaux [Maître de conférences à l'Université de Metz]

Lyes Benyoucef [Chargé de Recherche INRIA, à partir du 1er septembre 2001]

Marie-Claude Portmann [Professeur à l'École des Mines de Nancy (INPL)]

Nidhal Rezg [Maître de conférences, Université de Metz]

Daniel Roy [Maître de conférences, École Nationale d'Ingénieurs de Metz]

Antony Vignier [Maître de conférences à l'ESIAL, UHP - Nancy I]

Xiaolan Xie [Professeur à l'École Nationale d'Ingénieurs de Metz]

Assistantes de projet

Antoinette Courier [Nancy]

Christel Wiemert [Metz]

Chercheur invité

Mikhail Kovalyov [Chercheur à l'Académie des Sciences, Biélorussie (1 mois 1/2)]

Doctorants

Riad Aggoune [doctorant (Thèse en 2002)]

Mohamad Aloulou [doctorant (Thèse en 2002)]

Freddy Deppner [doctorant Cifre INCOTEC (Thèse en 2002)]

Honguei Ding [Depuis Octobre 2001]

Olivier Dupuis [doctorant Cifre INCOTEC (Thèse en 2002)]

Mauro Ferreira Koyama [Doctorant, chercheur au CTI Campinas, Brésil (Thèse soutenue le 6 mars 2001)]

Asma Ghaffari [doctorante (Thèse en 2002)]

Yazid Mati [doctorant (Thèse en 2002)]

Latifa Ouzizi [Doctorante (Thèse début 2004)]

Chercheur post-doctorant

Abdel Halim Mahdi [INRIA]

Stagiaires

Juan Francisco Gaytan Delgado [ITESM Mexique (4 mois)]

Jalel Ben H'mida [étudiant de DEA, ESST Tunis (1 mois)]

Guillaume Tisselin [étudiant ESIAL 2ème année, 2 mois]

Mohand Arezki Soussi [stage de DEA GSI]

2 Présentation et objectifs généraux

MACSI est projet INRIA depuis janvier 2000, après avoir été avant-projet depuis janvier 1998. Il se fixe pour objet d'étude la modélisation, l'analyse et la conduite des systèmes industriels. Le champ d'application visé concerne principalement les systèmes de production discrète, mais n'exclut pas les systèmes de production unitaire, continue ou encore "lots".

Les activités de recherche au sein de MACSI sont organisées suivant trois axes complémentaires :

- Modélisation et spécification des systèmes industriels comprenant la modélisation en entreprise (modèles descriptifs), la modélisation comportementale (modèles analytiques) et la synthèse de commande ;
- Évaluation des performances et dimensionnement des systèmes à événements discrets stochastiques. Cet axe concerne à la fois les méthodes analytiques pour des systèmes particuliers et les méthodes génériques d'optimisation des systèmes généraux ;
- Organisation et gestion de la production. Cet axe a principalement trait à l'ordonnancement prédictif et réactif, au pilotage, à l'agencement ainsi qu'à l'étude de politiques de maintenance dans les ateliers de production.

Les activités de MACSI se positionnent clairement dans le cadre de la conception et de la conduite des systèmes de production, sans toutefois chercher à en couvrir tous les aspects. Les bases théoriques sont celles des systèmes à événements discrets. La finalité de la recherche est résolument double, en privilégiant d'une part la recherche de résultats fondamentaux, mais en ayant d'autre part constamment le souci des applications industrielles. Ainsi, en phase de démarrage du projet, nous nous posons des problèmes ponctuels d'organisation, d'évaluation de performance, d'ordonnancement et de définition de politiques de maintenance. L'objectif à plus long terme est de contribuer au développement d'une méthode systématique et d'outils associés de conception et d'analyse des systèmes de production reposant sur la modélisation et la spécification formelle de la structure et de la commande de ces systèmes, à l'instar de ce qui se fait déjà en génie logiciel.

3 Fondements scientifiques

3.1 Modélisation des systèmes industriels

Mots clés : système industriel, système à événements discrets, modélisation en

entreprise, modélisation comportementale, synthèse de commande, réseau de Petri.

Participants : Gülgün Alpan-Gaujál, Juan Francisco Delgado, Latifa Ouzizi, Nidhal Rezg, François Vernadat, Xiaolan Xie.

La modélisation est indispensable pour la compréhension et l'analyse des phénomènes mis en jeu dans les systèmes industriels. La conduite de tels systèmes repose également sur l'utilisation de modèles. Ces modèles doivent rendre compte de la structure et du comportement du système et permettre l'analyse de ses propriétés qualitatives et quantitatives. Nous considérons deux types de modélisation : la modélisation en entreprise, qui est relative à l'expression des besoins, et la modélisation comportementale, qui est relative à la spécification des propriétés du système.

Les techniques de modélisation en entreprise [Be96,Pet93,Ver96] sont relativement récentes et les premiers outils informatisés font leur apparition sur le marché (ARIS ToolSet, FirstSTEP, IBM FlowMark, PrimeObject...). Il s'agit de méthodes descriptives visant à fournir une aide à la conception, l'analyse et la réorganisation d'environnements industriels. A l'instar de l'approche CIMOSA^[AMI93], acceptée par les comités de normalisation tant européen (CEN) qu'international (ISO), toutes ces méthodes placent la notion de processus opérationnel (ou *business process*) au coeur de leur démarche, les outils étant pour la plupart bâtis autour d'un système de *workflow* (ou flux de contrôle) et d'un moteur de simulation. A ces aspects de modélisation fonctionnelle s'ajoutent des aspects de modélisation des systèmes d'information, des ressources (techniques ou humaines) et de l'organisation du système industriel. Le but est de modéliser, dans le langage de l'utilisateur, d'une part l'architecture du système physique (partie opérative) et d'autre part l'architecture du système de commande et d'information (partie commande) du système industriel tout en prenant en compte le rôle des hommes et de leurs interactions^[Wil92,Sch96]. L'inconvénient majeur des méthodes et outils actuels est que ceux-ci reposent sur une vision trop algorithmique et déterministe des processus d'entreprise. Dans MACSI, nous cherchons à étendre ces approches pour prendre en compte plus d'indéterminisme et des mécanismes de gestion d'exception pour une modélisation plus fidèle et plus réactive du comportement des systèmes réels.

La modélisation comportementale consiste à modéliser un système de production en représentant le processus de fabrication de chaque produit, le comportement dynamique de chaque ressource et les différentes contraintes techniques à un niveau analytique^[BS92a]. Une caractéris-

-
- [Be96] P. BERNUS, L. N. (EDS.), *Modelling and Methodologies for Enterprise Integration*, Chapman & Hall, London, 1996.
 - [Pet93] C. PETRIE, *Enterprise Integration Modeling*, The MIT Press, Cambridge, MA, 1993.
 - [Ver96] F. VERNADAT, *Enterprise Modeling and Integration: Principles and Applications*, Chapman & Hall, London, 1996.
 - [AMI93] AMICE, *CIMOSA: Open System Architecture for CIM, second revised and extended edition*, Springer-Verlag, Berlin, 1993.
 - [Wil92] T. WILLIAMS, *The Purdue Enterprise Reference Architecture*, Instrument Society of America, 1992.
 - [Sch96] T. SCHAEEL, *Théorie et Pratique du Workflow*, Springer Verlag, 1996.
 - [BS92a] J. BUZACOTT, J. SHANTHIKUMAR, « Models of production systems », *in: Handbook of Industrial Engineering*, G. Salvendy (éditeur), IIE, New-York, 1992.

tique importante des systèmes de production est l'omniprésence des aléas tels que les pannes, les retards de livraison des matières commandées, les demandes exceptionnelles, l'absentéisme du personnel, etc. Pour cela, on considère un système de production comme un système dynamique à événements discrets^[Ho92]. Les formalismes les plus connus de représentation des systèmes à événements discrets sont les automates, les réseaux de Petri^[DA92,DHP+93], les statecharts^[Har87], les processus communicants de type CSP^[Mil80,Hoa85,IV88a] ou utilisant les logiques temporelles^[OW90a,MP92].

Dans MACSI, nous avons opté pour les réseaux de Petri à cause de leur simplicité d'utilisation, leur puissance de modélisation et les nombreux outils existant pour la vérification de leurs propriétés^[Mur89]. Dans des travaux antérieurs, il a été montré que les systèmes de production répétitifs peuvent être représentés aisément à l'aide des graphes d'événements, une classe élémentaire de réseaux de Petri^[PX94]. La vérification des propriétés est aisée grâce à de nombreuses propriétés des graphes d'événements. Il a également été proposé de nouveaux réseaux de Petri, appelés les réseaux de Petri à sorties contrôlables, qui possèdent toutes les propriétés souhaitées du point de vue des systèmes de production et qui peuvent être utilisés comme briques de construction pour bâtir des modèles de taille importante de façon incrémentale^[WX96]. En effet, l'expérience montre qu'il est difficile, voire impossible, de construire le modèle complet d'un système puis d'analyser ses propriétés à cause de la taille prohibitive du modèle final. Il faut alors avoir recours à des approches modulaires. Une approche modulaire consiste à identifier les modules de base ou les composants d'un système complexe, à représenter chaque module à l'aide des réseaux de Petri, et à intégrer les modèles des modules pour obtenir le modèle final. A ce titre, des expériences sont menées pour développer une approche qui représente le comportement dynamique de chaque ressource à l'aide d'une machine à états, puis construit le modèle complet du système en fusionnant les transitions et les places communes des différentes

-
- [Ho92] Y. HO, *Discrete Event Dynamic Systems*, IEEE Press, 1992.
- [DA92] R. DAVID, H. ALLA, *Du Grafcet aux Réseaux de Petri*, édition 2, Hermès, Paris, 1992.
- [DHP+93] F. DICESARE, G. HARHALAKIS, J.-M. PROTH, M. SILVA, F. VERNADAT, *Practice of Petri Nets in Manufacturing*, Chapman & Hall, London, 1993.
- [Har87] D. HAREL, « Statecharts: a visual formalism for complex systems », *in : Sci. Comput. Program.*, 8, 1987, p. 231–274.
- [Mil80] R. MILNER, *A Calculus for Communicating Systems*, Springer-Verlag, New-York, 1980.
- [Hoa85] C. HOARE, *Communicating Sequential Processes*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1985.
- [IV88a] K. INAN, P. VARAIYA, « Finitely recursive process models for discrete event systems », *IEEE Trans. Automatic Control AC-33*, 7, 1988, p. 626–639.
- [OW90a] J. OSTROFF, W. WONHAM, « A framework for real-time discrete event control », *IEEE Trans. Automatic Control AC-35*, 4, 1990, p. 386–397.
- [MP92] Z. MANNA, A. PNUELI, *The Temporal Logic of Reactive and Concurrent Systems*, Springer-Verlag, Berlin, 1992.
- [Mur89] T. MURATA, « Petri Nets: Properties, Analysis and Applications », *Proceedings of IEEE 77*, 4, 1989, p. 541–580, CD-ROM.
- [PX94] J.-M. PROTH, X.-L. XIE, *Les réseaux de Petri pour la conception et la gestion des systèmes de production*, Masson, Paris, France, 1994, Version anglaise intitulée Petri nets: A tool for design and management of manufacturing systems, John Wiley & Sons, 1996..
- [WX96] L.-M. WANG, X.-L. XIE, « Modular Modelling Using Petri Nets », *IEEE Transactions on Robotics and Automation 12*, 5, october 1996, p. 800–809.

machines à états^[JX97].

3.2 Synthèse de la commande des systèmes industriels

Mots clés : synthèse de commande, système à événements discrets, contrôleur, superviseur, réseau de Petri.

Participants : Gülgün Alpan-Gaujál, Asma Ghaffari, Nidhal Rezg, Xiaolan Xie.

La synthèse de commande consiste, partant d'une spécification de la structure et du comportement du système physique à contrôler et des objectifs à atteindre, à spécifier une politique de commande pour ce système et à générer le code du contrôleur^[KG95]. Un contrôleur est un agent capable d'activer ou de désactiver les transitions contrôlables d'un système discret en fonction des occurrences d'événements survenant dans le système physique. Il a pour but de gérer l'évolution des occurrences de chaque processus et leur coordination. Le contrôleur peut avoir une structure hiérarchique assurant ainsi une fonction de commande globale et des fonctions de commande locales. Le nombre de niveaux dépend de la complexité du système à commander.

En théorie, plusieurs techniques ont été proposées pour la conception des contrôleurs. On peut utiliser les réseaux de Petri^[ZD93, HK92], les réseaux conditions /événements^[HR95], les langages formels ou l'approche de Ramadge et Wonham^[RW87, RW89, BW94], les processus récursifs finis^[IV88b] ou les logiques temporelles^[OW90b, Ost89].

Dans MACSI, la synthèse de la commande des systèmes de production est envisagée pour des systèmes à événements discrets à partir d'une spécification obtenue suivant les principes des travaux de Ramadge et Wonham. En particulier, l'approche considérée est basée sur un

-
- [JX97] M. JENG, X.-L. XIE, « Synthesis of resource control nets using siphons », *in: IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetic*, p. 435–440, october 1997.
 - [KG95] R. KUMAR, V. GARG, *Modeling and Control of Logical Discrete Event Systems*, Kluwer Press, Boston, 1995.
 - [ZD93] M. ZHOU, F. DICESARE, *Petri Net Synthesis for Discrete Event Control of Manufacturing Systems*, Kluwer Academic Publishers, Amsterdam, 1993.
 - [HK92] L. HOLLOWAY, B. KROGH, « Synthesis of feedback control logic for a class of controlled Petri nets », *IEEE Trans. Automatic Control* 37, 5, 1992, p. 692–697.
 - [HR95] H.M.HANISCH, M. RAUST, « Synthesis of supervisory controllers based on novel representation of condition/event systems », *in: IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics*, 4, p. 3069–3074, Oct. 22-25, 1995.
 - [RW87] P. RAMADGE, W. WONHAM, « Supervisory control of a class of discrete-event processes », *SIAM J. Contr. Optimiz.* 25, 3, 1987, p. 206–230.
 - [RW89] P. RAMADGE, W. WONHAM, « The control of discrete event systems », *Proceedings of the IEEE* 77, 1, 1989, p. 81–98.
 - [BW94] B. BRANDIN, W. WONHAM, « Supervisory control of timed discrete event systems », *IEEE Trans. On Automatic Control* 39, 2, 1994, p. 329–342.
 - [IV88b] K. INAN, P. VARAIYA, « Finitely recursive process models for discrete event systems », *IEEE Trans. On Automatic Control* 33, 7, 1988, p. 626–639.
 - [OW90b] J. OSTROFF, W. WONHAM, « A framework for real-time discrete event control », *IEEE Trans. Automatic Control* 35, 4, 1990.
 - [Ost89] J. OSTROFF, *Temporal Logic for Real Time Systems*, Research Studies Press, 1989.

modèle hybride qui cherche à combiner les avantages des réseaux de Petri et des langages formels, développée dans le cadre de la thèse de G. Alpan-Gaujal^[Alp97].

3.3 Évaluation de performances des systèmes à événements discrets

Mots clés : évaluation de performance, système stochastique, réseau de Petri, analyse de perturbation, simulation.

Participants : Nidhal Rezg, Xiaolan Xie.

Les outils reconnus pour l'évaluation des performances des systèmes à événements discrets sont la simulation et les outils analytiques tels que les chaînes de Markov, les réseaux de files d'attente, les réseaux de Petri stochastiques et l'algèbre max-plus^[Des90, Ho89, CMQV89, BCOQ92]. D'une part, les outils analytiques souffrent de problèmes d'explosion d'états, c'est-à-dire que le nombre d'états croît de manière exponentielle avec la taille du problème. Pour des systèmes particuliers, il est cependant possible de développer des méthodes analytiques exactes ou approximatives pour déterminer les performances du système étudié sans explorer l'espace d'états. D'autre part, bien que la simulation soit l'outil d'évaluation des performances le plus utilisé et le mieux adapté dans l'industrie, son utilisation reste lourde et coûteuse en temps de calcul. La simulation a longtemps été considérée comme une "boîte noire". Cet aspect "boîte noire" est en train de changer grâce aux développements récents des techniques de l'analyse des perturbations^[HC91]. Ces techniques visent à évaluer, à l'aide d'une seule simulation, les gradients ou d'autres mesures de sensibilité par rapport à des paramètres du système simulé.

3.4 Ordonnancement et gestion des systèmes industriels

Mots clés : agencement, ordonnancement, optimisation discrète, système réactif, pilotage, architecture de commande, politique de maintenance.

Participants : Riad Aggoun, Mohamed Ali Aloulou, Gülgün Alpan-Gaujal, Henri Amet, Didier Anceaux, Lyes Benyoucef, Freddy Deppner, Olivier Dupuis, Mauro Ferreira Koyama, Abdel Halim Mahdi, Mikhail Kovalyov, Yadiz Mati, Marie-Claude Portmann, Nidhal Rezg, Daniel Roy, François Vernadat, Antony Vignier, Xiaolan Xie.

L'organisation et la conduite d'un système de production posent de nombreux problèmes tels que l'agencement des ateliers, la prévision de demandes, le réapprovisionnement en ma-

-
- [Alp97] G. ALPAN, *Design and Analysis of Supervisory Controllers for Discrete Event Dynamic Systems*, Ph.d. thesis, Rutgers University, New Brunswick, New Jersey, May 1997.
 - [Des90] A. DESROCHERS, *Modeling and Control of Automated Manufacturing Systems*, IEEE Computer Society Press, Washington, DC, 1990.
 - [Ho89] Y. HO, « Special issue on Discrete Event Dynamic Systems », *Proceedings of the IEEE* 77, 1, 1989.
 - [CMQV89] G. COHEN, P. MOLLER, J.-P. QUADRAT, M. VIOT, « Algebraic tools for the performance evaluation of discrete event systems », *Proceedings of the IEEE* 77, 1, 1989, p. 38–58.
 - [BCOQ92] F. BACCELLI, G. COHEN, G. OLSDER, J. QUADRAT, *Linearity and Synchronization*, John Wiley & Sons, New York, 1992.
 - [HC91] Y. HO, X. CAO, *Perturbation Analysis of Discrete Event Dynamic Systems*, Kluwer Academic Publishers, 1991.

tières premières et en composants, la gestion des stocks, la planification, l'ordonnancement, la livraison, le contrôle de qualité, la supervision ou la maintenance des équipements, entre autres [Gia88,Dup98,Sal92]. Le projet MACSI n'a pas la prétention de s'attaquer à tous ces problèmes mais vise à contribuer à une gestion plus globale et plus réactive des systèmes industriels. Bien que de nombreux modèles formels existent pour les systèmes de production^[BS92b] ou les problèmes d'agencement de ressources^[MUY95], ce sont les problèmes de planification et d'ordonnancement pour lesquels les fondements théoriques sont les mieux établis^[Bak74,CMM67,Fre82].

Les problèmes de planification et d'ordonnancement se posent aux niveaux du moyen terme, court terme et très court terme. Ce sont des problèmes de décision liés à la production de produits, de transports ou de services. Les questions soulevées par ces problèmes sont : quand produit-on ? combien ? en utilisant quels moyens ? et de quelle façon ?

Les problèmes de planification concernent le niveau moyen terme^[Orl75]. Il s'agit de répartir les charges de production, éventuellement entre plusieurs sites géographiques (cas des chaînes logistiques) et de les lisser sur un horizon relativement long, appelé horizon du moyen terme découpé en périodes, par exemple, un horizon de six mois découpés en 12 quinzaines. Le choix de l'horizon et de l'unité de temps du moyen terme dépend de la durée de vie des produits fabriqués, des délais, de la qualité des prévisions de vente... Ils doivent être définis par l'entreprise pour chaque grand secteur d'activités.

Les problèmes d'ordonnancement se posent au niveau court terme et très court terme de la gestion de production^[BEP+96,CC88,GOT93,Pin92]. Il s'agit de définir avec une précision qui dépend du niveau où on se place, quand et avec quelles ressources on réalise les opérations qui permettent d'assurer la production de produits, la maintenance des machines ou des transports de marchandises ou de personnes. On distingue trois classes de problèmes d'ordonnancement : les problèmes dits faciles ou polynomiaux (on peut obtenir une solution optimale et avoir la preuve de son optimalité en utilisant un algorithme polynomial), les problèmes dits NP-difficiles

-
- [Gia88] V. GIARD, *Gestion de la Production, 2ème édition*, Economica, Paris, 1988.
- [Dup98] L. DUPONT, *La Gestion Industrielle*, Hermès, Paris, 1998.
- [Sal92] G. SALVENDY, *Handbook of Industrial Engineering*, John Wiley, New York, 1992.
- [BS92b] J. BUZACOTT, J. SHANTHIKUMAR, *Stochastic Models of Manufacturing Systems*, Prentice-Hall Pub., Englewood Cliffs, NJ, 1992.
- [MUY95] C. MOODIE, R. UZSOY, Y. YIH, *Manufacturing Cells: A Systems Engineering View*, Taylor & Francis, London, 1995.
- [Bak74] K. BAKER, *Introduction to Sequencing and Scheduling*, John Wiley, New York, NY, 1974.
- [CMM67] R. CONWAY, W. MAXWELL, R. MILLER, *Theory of Scheduling*, Addison-Wesley, reading, MA, 1967.
- [Fre82] S. FRENCH, *Sequencing and Scheduling: An Introduction to the Mathematics of the Job Shop*, Horwood, Chichester, 1982.
- [Orl75] J. ORLICKY, *Material Requirements Planning*, McGraw Hill, 1975.
- [BEP+96] J. BLAZEWICZ, K. ECKER, E. PESCH, G. SCHMIDT, J. WEGLARZ, *Scheduling Computer and Manufacturing Processes*, Springer Verlag, Berlin, 1996.
- [CC88] J. CARLIER, P. CRETENNE, *Problèmes d'Ordonnancement*, Masson, Paris, 1988.
- [GOT93] GOTHA, « Les problèmes d'ordonnancement », *Recherche Opérationnelle/Operations Research* 27, 1, 1993, p. 77-150.
- [Pin92] M. PINEDO, *Scheduling, In Handbook of Industrial Engineering*, John Wiley, New York, NY, 1992, pp. 2131-2153.

(ou non polynomiaux) et les problèmes dits ouverts (personne n'a encore prouvé qu'ils sont polynomiaux ou qu'ils sont NP-difficiles). Pour les problèmes NP-difficiles et les problèmes ouverts, on ne sait écrire, pour obtenir une solution optimale ou même pour obtenir une solution réalisable dans le cas de problèmes très contraints, que des algorithmes dont la complexité est exponentielle (c'est-à-dire de durée prohibitive dès l'instant où l'on considère des problèmes de taille industrielle). C'est pourquoi, pour ces problèmes, on conçoit des méthodes approchées (recuit simulé, méthodes Tabu, algorithmes évolutionnistes...). MACSI vise à apporter des solutions exactes à ces problèmes lorsque c'est possible et à proposer des méthodes approchées (comme des algorithmes génétiques) dans les autres cas.

4 Domaines d'applications

Les domaines d'application du projet MACSI concernent principalement les systèmes de production discrète (production mécanique, chaînes d'assemblage, parachèvement, fabrication de semi-conducteurs, etc.) mais également les systèmes de production continue (en particulier la sidérurgie), unitaire ou par lots. Bien que l'ensemble des résultats obtenus dans le projet aient été étudiés dans le cadre de la production de biens, certains résultats peuvent être appliqués à l'industrie du service (modélisation en entreprise, évaluation de performances, ordonnancement). Les domaines de compétences des membres de MACSI portent essentiellement sur :

1. La conception préliminaire des systèmes de production allant de l'expression formalisée des besoins, l'analyse fonctionnelle, structurelle et informationnelle de ces besoins, le choix des ressources et l'agencement physique du système, le choix d'une politique de gestion, la simulation et la prédiction des performances du système ;
2. la réorganisation d'un système existant et l'évaluation de ses performances ;
3. l'optimisation des flux physiques d'un atelier et la définition d'une politique d'ordonnancement prenant éventuellement en compte une politique optimisée de maintenance des équipements ;
4. la définition et la mise en place de systèmes de pilotage d'atelier pouvant réagir aux aléas de fonctionnement ;
5. l'intégration des systèmes de production au moyen de plates-formes d'intégration.

Les secteurs industriels dans lesquels les membres de MACSI ont été amenés à intervenir ou pour lesquels ils développent leur recherche concernent :

- l'industrie automobile
- les ateliers de fabrication mécanique
- les problèmes d'assemblage
- la fabrication de semi-conducteurs
- la sidérurgie

Les activités industrielles de MACSI sont de plus en plus liées à la conception et à la gestion des chaînes logistiques, qui consistent à proposer des modèles de flux, de produits, d'informations et de décisions englobant plusieurs entreprises qui collaborent à la réalisation de produits finis.

5 Logiciels

Dans le cadre d'un post-doc " création d'entreprise ", Abdel Halim MAHDI a déposé deux logiciels qui sont la co-propiété de MACSI :

- un logiciel d'agencement d'atelier de production (*Hybrid Layout*) qui peut prendre en compte deux types d'agencement à partir de la forme des machines et de la connaissance des gammes de production : agencement de machines de forme rectangulaire avec affectation des moyens de manutention dans l'atelier ; agencement de machines de forme polygonale rectiligne mais avec un seul moyen de transport des produits.
- un logiciel de découpe à deux dimensions (*Méta-découpe*) pour l'optimisation de la découpe de bois dans les scieries, de la découpe de verre, de la découpe de tôle ou de textile. Il peut prendre en compte soit des formes rectangulaires (verre ou autres matériaux), soit des formes complexes pour le métal ou le textile.

6 Résultats nouveaux

synthèse des systèmes industriels

6.1 Modélisation et synthèse des systèmes industriels

Mots clés : système industriel, système à événements discrets, modélisation en entreprise, modélisation comportementale, synthèse de commande, réseau de Petri..

6.1.1 Modélisation des systèmes industriels

Participants : François Vernadat, Daniel Roy.

Dans le cadre de nos activités sur la modélisation en entreprise et la simulation de systèmes industriels, nos travaux se sont focalisés sur trois actions majeures en 2000-2001. En premier lieu, les bases d'un langage unifié de modélisation en entreprise pour les systèmes de productique ont été définies. Ce langage, nommé UEML (Unified Enterprise Modelling Language), fait l'objet d'une collaboration internationale et trouve ses racines dans le formalisme CIMOSA [5, 23]. Nous avons ainsi, d'une part, défini l'ensemble des constructs centraux (core constructs) du langage [38, 37] dans le cadre des travaux du groupe de travail UEML de la IFAC-IFIP Task Force on Architectures for Enterprise Integration. D'autre part, nous avons travaillé au montage d'un projet IST sur UEML regroupant des entreprises spécialisées en modélisation d'entreprise (GRAISoft, Computas, PSI), des associations d'utilisateurs (CIMOSA Association) et des partenaires académiques (Université de Namur, Université de Turin, IPK Berlin, INRIA). Le projet, soumis en mars 2001, a passé avec succès l'évaluation technique (8 sur 43) mais n'a pas pu être financé (seuls 6 projets ont été financés). Il a été soumis à nouveau comme mesure d'accompagnement en octobre. En deuxième lieu, nous avons monté un projet de recherche commun avec le GREGI des Facultés Universitaires Catholiques de Mons (FU-CaM), le LGIPM et MACSI. Ce projet concerne le développement de systèmes avancés d'aide à la décision sur la base d'outils de simulation et de recherche opérationnelle. Le domaine

d'application qui nous concerne est la simulation de chaînes logistiques pour la conception de la chaîne, la définition de politiques de coordination pour l'ensemble de la chaîne et l'évaluation de performances de la chaîne. Ce projet vient d'être accepté pour financement par le gouvernement belge. En troisième lieu, nous avons augmenté le pouvoir de description du langage de processus de CIMOSA en ce qui concerne la prise en compte de facteurs humains. En particulier, un effort particulier a porté sur la modélisation des compétences individuelles et collectives d'une organisation et des résultats originaux ont été obtenus [24, 25]. Par ailleurs, une méthodologie générale d'ingénierie et d'amélioration continue des entreprises industrielles, basée sur nos travaux de modélisation en entreprise, a été développée en collaboration avec le Laboratoire de Logiciel pour la Productique (LLP) d'Annecy [6, 19, 18]. L'originalité de l'approche réside dans la nature cyclique de la méthode et une modélisation par niveau de détail et point de vue des aspects de l'entreprise à analyser. Les travaux de modélisation des systèmes industriels se font en collaboration étroite avec les activités de l'équipe AGIP du LGIPM (EA 3096) et se concentrent dorénavant sur les aspects de chaîne logistique avec les autres projets dont il est question par ailleurs dans ce rapport. Dans ce cadre, la modélisation des systèmes industriels s'est orientée vers une plate-forme de modélisation, simulation et évaluation de chaînes logistiques. Actuellement, la définition des constructs de modélisation est en cours et nous avons résolu le problème de modélisation du comportement des entités constituant la chaîne. La recherche s'oriente actuellement vers la définition de la politique de coordination de la chaîne et des indicateurs de performance de la chaîne à prendre en compte dans la simulation. Ce travail de recherche est directement lié au projet européen V-Chain.

6.1.2 Synthèse des réseaux de Petri

Participants : Xiaolan Xie, MuDer Jeng [professeur à National Taiwan Ocean University].

La collaboration avec le Professeur MuDer Jeng (National Taiwan Ocean University) se poursuit sur la modélisation modulaire des systèmes de production avec des performances dégradées telles que les pannes des machines, la maintenance des équipements et la reprise des opérations. Ces phénomènes sont particulièrement fréquents dans les systèmes de fabrication des circuits intégrés. Nous avons étendu les réseaux "RCN-merged net" que nous avons proposées précédemment. Les nouveaux réseaux sont baptisés "RCN*-merged nets". Chaque "RCN*-merged net" est obtenu par l'intégration des modèles de base. Chaque modèle de base est une machine à état avec des cycles locaux permettant la prise en compte des comportements dégradés. L'introduction des cycles locaux complique l'analyse du modèle intégré. Nous avons démontré que la réversibilité d'un réseau "RCN*-merged net" se caractérise par l'absence des siphons pouvant être vidés de jetons. L'analyse de la vivacité s'appuie sur les siphons et les T-invariants. Ce travail se traduit par un article journal accepté [7].

6.1.3 Synthèse de commande à l'aide des réseaux de Petri

Participants : Gülgün Alpan-Gaujaj, Asma Ghafarri, M. A. Jafari [Professeur à

Rutgers University], Nidhal Rezg, Xiaolan Xie.

Cette recherche s'inscrit dans le cadre de l'action coopérative 1999-2001 MARS de l'INRIA. Nous avons proposé une approche originale de la supervision des systèmes de production avec des états interdits et des transitions incontrôlables. L'approche proposée consiste tout d'abord à construire le réseau de Petri de la partie opérative du système (processus physique), puis à générer le graphe d'états de ce réseau, puis à modifier ce graphe pour éviter d'atteindre les états interdits et les états de blocage (prise en compte des spécifications de contrôle), et enfin de synthétiser le réseau de Petri du système contrôlé par ajout de places de contrôle en utilisant la théorie des régions développée par le projet Paragraphe. L'approche fondée sur la théorie des régions est générale et elle permet d'obtenir un contrôleur optimal et compact pour la supervision en temps réel. Mlle Ghaffari a développé un prototype logiciel pour supporter cette approche. Bien que l'approche souffre de l'explosion combinatoire dans sa construction, les expériences numériques récentes montrent qu'elle permet de contrôler des réseaux de dizaines de milliers d'états avec quelques places de contrôle. Cela prouve la puissance de cette méthode et démontre l'applicabilité de cette approche pour le contrôle en temps réel. Voir [21, 20] pour plus de détails.

La recherche se poursuit pour les problèmes de contrôle dont le contrôle optimal ne peut pas être réalisé par ajout de places de contrôle à cause de la non convexité de l'ensemble des marquages du système contrôlé.

Une autre étude sur le même thème est menée par Gülgün Alpan et Mohsen Jafari [3] dans laquelle un modèle hybride est proposé pour le contrôle superviseur. Ce modèle fusionne la théorie de Ramadge et Wonham de contrôle superviseur et la modélisation par les réseaux de Petri des systèmes discrets. Le modèle résultant donne le comportement sous contrôle du système de production sous forme de réseau de Petri. Ce modèle peut être utilisé pour des analyses fonctionnelles et celles de la performance du système sous contrôle ainsi que la vérification du contrôleur.

6.1.4 Supervision des graphes marqués avec transitions incontrôlables

Participants : Asma Ghafarri, Nidhal Rezg, Xiaolan Xie.

Parallèlement à l'axe sur l'utilisation de la théorie des régions, nous avons aussi travaillé sur les approches basées sur la structure des réseaux de Petri. Nous nous sommes intéressés aux problèmes de contrôle de modèles de type graphe d'événement avec des transitions non contrôlables et qui sont sujets à des spécifications de type Contraintes Linéaires Généralisées d'Exclusion Mutuelle (CGEM). La structure particulière de cette sous-classe de réseaux nous a permis de développer des algorithmes de synthèse d'une commande optimale facile à mettre en oeuvre. Les cas considérés correspondent à différentes configurations assez générales de la structure du sous-réseau à contrôler [22].

6.1.5 Supervision des graphes marqués avec transitions incontrôlables et inobservables

Participants : Philippe Darondeau, Xiaolan Xie.

Ce travail est le fruit de la coopération entre Ph. Darondeau (projet PARAGRAPHÉ de l'INRIA-Rennes) et Xiaolan Xie. Il a été entrepris dans le cadre de l'action coopérative Mars de l'Inria. Nous proposons, pour des graphes marqués vivants ayant des actions incontrôlables ou inobservables, un calcul de leur contrôle optimal, utilisant la programmation linéaire en nombres rationnels.

Rappelons qu'un graphe marqué est un réseau de Petri dans lequel chaque place a exactement une transition en entrée et une transition en sortie, et dont tous les arcs sont de poids unitaire. Un superviseur est système de contrôle qui permet ou interdit les transitions contrôlables du système contrôlé en fonction de ses transitions observables.

Indépendamment de la théorie des régions, qui peut aussi servir au calcul de contrôleurs asynchrones, a été menée avec Ph. Darondeau une étude sur la supervision des graphes marqués vivants. L'objectif de contrôle est donné par une contrainte linéaire sur les vecteurs de tir du graphe marqué, borné ou non, ayant ou non des transitions incontrôlables et/ou inobservables. Nous montrons que la projection observable d'un graphe marqué vivant est encore un graphe marqué vivant. Nous en déduisons un calcul efficace du superviseur le plus permissif par la programmation linéaire en nombres rationnels. Dans le cas de graphes marqués vivants fortement connexes, nous ajoutons le maintien de la vivacité à l'objectif de contrôle, et montrons que le calcul du superviseur le plus permissif se ramène alors à un problème équivalent sur des automates finis. Un rapport présentant les résultats a été rédigé [40].

6.1.6 Evitement de blocage des réseaux de Petri sauf par dépliage

Participants : Alessandro Giua, Xiaolan Xie.

La venue en tant que professeur invité d'Alessandro Giua (Université de Cagliari, Italie) a été l'occasion d'étudier l'applicabilité de la technique de dépliage pour la synthèse de commande. Le dépliage est connu comme une technique très efficace pour la vérification des propriétés des réseaux de Petri saufs de grande taille. Pour la plupart des réseaux, il est possible de représenter l'espace d'états par un réseau acyclique de taille limitée dont la vérification est aisée. Malheureusement, il n'existe pas, à ce jour, de travaux significatifs dans la littérature sur l'utilisation de dépliage pour la synthèse de commande. Dans la collaboration avec le professeur Giua, nous nous sommes limités à l'évitement de blocage dans un réseau de Petri dont toutes les transitions sont contrôlables. Au lieu d'utiliser le réseau déplié, appelé réseau du niveau 1, pour représenter l'espace d'état, l'originalité de notre approche est l'utilisation des réseaux dépliés du niveau 2 permettant la représentation de l'espace atteignable à partir de tout état possible. Ceci nous a permis d'identifier pour chaque situation de blocage la cause et de définir une place de contrôle à ajouter au réseau déplié. Plus de travaux sont nécessaires pour comprendre l'application d'une telle approche et l'extension à d'autres problèmes de synthèse de commande.

6.2 Évaluation des performances

Mots clés : évaluation de performance, systèmes stochastiques, réseau de Petri, analyse de perturbations, simulation, maintenance, systèmes de production.

6.2.1 Politique de maintenance des systèmes de production

Participants : Nidhal Rezg, Xiaolan Xie.

Nous avons considéré l'optimisation de la politique de maintenance d'une ligne de production composée de plusieurs machines séparées sans stock tampon intermédiaire. La production dépend d'un stock de sécurité h et la ligne produit à sa capacité maximale si h n'est pas atteint et s'adapte à la demande sinon. Contrairement à nos travaux précédents, nous supposons que les demandes non satisfaites sur stock sont perdues. Une politique de maintenance du type "age" est utilisée pour la maintenance de chaque machine, c'est-à-dire qu'une machine M_i est arrêtée pour maintenance préventive si son age atteint un seuil critique m_i . L'objectif est minimiser la somme des coûts de stockage, de perte, de maintenance préventive et de maintenance corrective. Nous avons proposé une méthode analytique pour le cas d'une seule machine. Les résultats numériques montrent qu'elle donne des solutions proches de celles de la simulation et que l'optimisation simultanée de la gestion de stock (i.e. h) et de la politique de maintenance (i.e. m) conduit à un gain d'environ 12% par rapport à une optimisation séparée. Voir [33] et [36] pour plus de détails. L'étude se poursuit sur l'étude d'une ligne quelconque et sur l'utilisation de la méthode de plans d'expériences.

6.3 Organisation et gestion de production

Mots clés : systèmes de production, agencement, ordonnancement, optimisation discrète, systèmes réactifs, pilotage, architectures de commande, politiques de maintenance.

6.3.1 Ordonnancement prédictif pour les systèmes de production

Participants :

Riad Aggoune, Mohamed Ali Aloulou, Freddy Deppner, Olivier Dupuis, Adam Janiak, Mikhail Kovalyov, Abdel Halim Mahdi, Marie-Claude Portmann, Antony Vignier.

En 2001, nos travaux sur les ordonnancements prédictifs ont tous porté sur la même famille de problèmes d'ordonnancement : les "flow shop hybrides" et leurs cas particuliers (un seul étage et / ou une seule machine par étage). On peut regrouper les travaux réalisés en trois grandes catégories : l'intérêt des ordonnancements de permutation pour les "flow shops" classiques, l'étude de la complexité et la recherche de solutions efficaces pour des problèmes à une machine (issus de nos travaux présentés en 6.3.2. ou réalisés sur des modèles proposés lors de collaboration internationale) et l'ordonnancement simultané des opérations de maintenance et des opérations de production.

Il est très connu depuis les années 50 que pour le critère "minimisation de la durée totale de l'ordonnancement", les ordonnancements de permutation (FIFO pour la politique de stocks

devant chaque machine) contiennent au moins une solution optimale (sous-ensemble dominant) pour le problème de " flow shop " classique lorsque le nombre de machines est inférieur ou égal à 3 et que ceci est faux en général lorsque le nombre de machines est supérieur ou égal à 4. Nous proposons une extension au cas de 4 machines lorsque la chaîne de production est " équilibrée " (plus grande durée opératoire inférieure ou égale à deux fois la plus petite durée. Nous avons démontré que, pour 4 machines et 2, 3 et 4 travaux, FIFO était dominant si la production est " équilibrée " [28]. Nous travaillons sur la généralisation de ce résultat.

Dans le cadre d'une collaboration avec l'Université Technologique de Wrocław (Pologne) et avec l'Institut de Cybernetic de l'Académie des Sciences de Biélorussie, nous avons proposé des algorithmes exactes (basés la programmation linéaire continue et des analyses géométriques) de résolution pour des problèmes à une machine où les temps de réglage et les durées opératoires peuvent être diminués en utilisant une ressource ou deux ressources communes à tous les travaux [27, 26, 41]. Lors de la visite de Mikhail Kovalyov dans l'équipe, nous avons étudié la complexité de problèmes non classiques de maximisation de critères réguliers. Nous avons en particulier considéré la famille des ordonnancements calés gauches pour des problèmes à une machine avec ou sans date d'arrivées différentes des travaux, avec ou sans contraintes de précedence entre les travaux, et la maximisation de critères liés aux dates d'achèvement des travaux [17, 39, 15, 16]. Pour les problèmes faciles, nous avons proposé des algorithmes polynomiaux et pour les problèmes difficiles, nous avons démontré la complexité et proposé des algorithmes approchés. La complexité des problèmes liés à la somme (pondérée ou non) des retards reste ouverte. Nous avons également poursuivi les travaux des années antérieurs sur les algorithmes génétiques [34], [10],[35].

Notre dernière activité en ordonnancement prédictif est liée à la volonté de croiser l'ordonnancement des opérations de production et des opérations de maintenance. Nous considérons des ordonnancements de type " flow shop " dans lequel nous introduisons soit des opérations de maintenance dont les dates sont figées (ce qui revient à travailler avec des calendriers différents sur les différentes machines) ou qui doivent absolument être réalisées sur des intervalles de temps donné et dont il faut choisir la position. Des algorithmes génétiques à base de codage indirect ont été proposés pour résoudre ces problèmes de manière approchée pour le critère durée totale et pour le critère somme pondérée des retards [13, 14].

6.3.2 Ordonnancement prédictif et réactif pour les systèmes de production

Participants : Mohamed Ali Aloulou, Marie-Claude Portmann, Guillaume Thisselin, Antony Vignier.

Nous nous intéressons à l'ordonnancement et au pilotage des ateliers en présence de perturbations. Notre objectif est de proposer à l'atelier, non pas un ordonnancement prédictif, qui deviendra caduque très vite lorsque les perturbations arriveront, mais de proposer des familles d'ordonnancement qui contiennent de la flexibilité qui pourra être utilisée lors du pilotage, de manière à espacer les instants où il faut recalculer les ordonnancements prédictifs car il est devenu impossible de les suivre. Les familles d'ordonnancements flexibles devront garantir des valeurs maximales qui ne devront pas être dépassées pour les critères à minimiser, ceci justifie les études sur la maximisation des critères réguliers présentées au paragraphe précédent puis-

qu'elles concernent les ordonnancements prédictifs. Nous cherchons à introduire deux types de flexibilité : de la flexibilité temporelle (qui permet de prendre en compte des pannes des machines) et de la flexibilité sur les ordres des opérations (qui permet d'accepter des variations, par exemple, dans les dates de disponibilité des travaux). Ces travaux constituent le coeur de la thèse de Mohamed Ali Aloulou [17, 16]. Pour valider les familles d'ordonnancements flexibles conçues, il convient à présent de compléter le prototype en développant différents pilotages automatiques ou interactifs et en lançant des séries de simulation correspondant à différentes familles de perturbations. Par ailleurs, nous avons travaillé sur les concepts fondamentaux de cette approche en rédigeant conjointement un chapitre de livre sur le pilotage flexible avec des collègues du LAAS et du laboratoire informatique d'Avignon [4]. Des travaux complémentaires sur les problèmes de type " job shop " sont en cours en collaboration avec Christian Artigues du laboratoire d'informatique d'Avignon.

6.3.3 Gestion des systèmes de production à ressources multiples

Participants : Yazid Mati, Nidhal Rezg, Xiaolan Xie.

Nous étudions, dans ce travail, la gestion des systèmes de production dans lesquels la fabrication d'un produit nécessite la présence de plusieurs types de ressources telles que les machines, les moyens de transport, les outils, les opérateurs, etc. L'objectif consiste à proposer une méthodologie intégrée pour la spécification de tels systèmes et des algorithmes pour l'ordonnancement de la production en tenant compte de la variété des ressources engagées dans une production. Dans le cadre de la thèse doctorale de Yazid Mati, nous avons développé une méthode originale d'ordonnancement des job-shop multi-ressources avec blocage (ou job-shop MRB). Cette méthode s'appuie sur un algorithme exact pour les job-shops MRB de deux travaux que nous avons développé. L'ordonnancement d'un job-shop MRB avec un nombre quelconque de travaux est obtenu par une méthode itérative qui prend en compte un nouveau travail à chaque itération. Chaque itération de cette méthode consiste à agréger les travaux déjà ordonnancés en un travail composé et ensuite ordonnancer le nouveau travail et le travail composé. La méthode de la recherche Taboo est ensuite utilisée pour déterminer l'ordre optimal dans lequel les travaux sont pris en compte. Les nombreuses expériences numériques montrent que cette nouvelle méthode est en moyenne 510 résultats ont été publiés dans [8, 29, 31].

Parallèlement à la méthode ci-dessus, nous avons proposé dans [9] une méthode fondée sur la modélisation en graphes disjonctifs généralisés pour le cas où chaque ressource est disponible en une seule unité. Le graphe disjonctif et la méthode du chemin critique sont souvent utilisés pour l'optimisation des job shops classiques. Mais dans notre cas, à cause de la contrainte de ressources telles que les moyens de transport, l'application directe de la méthode de chemin critique peut conduire à des situations de blocages. Nous avons proposé une méthode de recherche Taboo fondée sur la méthode de chemin critique et la méthode exacte pour le cas de deux travaux pour sortir de la situation de blocage. Les résultats numériques sont très encourageants.

Ces méthodes sont par la suite étendue à l'ordonnancement des jobs avec flexibilité de ressources, i.e. chaque opération peut être exécutée de plusieurs manières avec des ressources différentes et de temps opératoires différents. Le problème devient plus difficile car même le

cas de deux jobs devient NP-difficile. Monsieur Mati a identifié un cas solvable de manière efficace, cas d'un job simple et un job avec flexibilité de ressources. Ce cas constitue la base pour généraliser l'algorithme présenté dans le paragraphe précédent pour l'ordonnancement des jobs avec flexibilité de ressources. De nombreuses expériences numériques montrent que cette méthode est très efficace et elle est très compétitive par rapport à de meilleures méthodes conçues pour des cas particuliers sur des cas d'étude particuliers ([30, 32]).

6.3.4 Architectures de pilotage des systèmes réactifs

Participants : Didier Anciaux, Mauro Ferreira Koyama, Daniel Roy, François Vernadat.

Ce travail concerne la prise en compte des perturbations pouvant intervenir lors du pilotage de la production de différents produits dans un atelier de production discrète. Pour atteindre ces objectifs, une plate-forme nommée SYROCO ^[ARV98] pour le pilotage réactif d'atelier a été réalisée et validée [18]. La phase de transfert de SYROCO sur une cellule réelle est quasiment terminée et la thèse de M Koyama [2] portant sur ce sujet a été soutenue le 6 mars 2001 à Campinas, Brésil. Ces travaux ont montré la faisabilité de l'interconnexion de SYROCO avec des ressources réelles et l'efficacité de l'architecture du point de vue du pilotage [11, 12]. Enfin, L'adaptation de SYROCO pour en faire une plateforme de test de simulation d'algorithme d'ordonnancement réactif est toujours à l'étude. De plus, les applications de maintenance, maintenant intégrée aux axes de recherche de MACSI pourraient être, de la même manière, intégrées et testées dans le cadre de SYROCO.

7 Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)

7.1 Projet AEE (Architecture Electronique Embarquée)

Participants : Marie-Claude Portmann, Lyes Benyoucef.

MACSI n'a pas participé au projet AEE en 2001. Marie-Claude Portmann et Lyes Benyoucef participeront en 2002 au nouveau projet EAST EEA qui vient de démarrer et dont TRIO est l'animateur principal pour le compte du LORIA (voir TRIO pour la description de EAST EEA).

Partenaires : GIE PSA Peugeot Citroën - Renault, Aérospatiale, Valéo, Siemens Automative, INRIA, ERCyN, LORIA.

7.2 Collaboration avec la Société INCOTEC

Participants : Marie-Claude Portmann, Antony Vignier, Freddy Deppner, Olivier Dupuis.

La collaboration avec INCOTEC s'est poursuivie cette année. Les deux thèses Cifre (Freddy Deppner et Olivier Dupuis) se poursuivent. La collaboration avec INCOTEC s'est poursuivie

[ARV98] D. ANCIAUX, D. ROY, F. VERNADAT, « Reactive shop-floor control with a multi-agent system », in : *Management and Control of Production and Logistics*, L.M.Aguilera and Z. Binder (éd), Pergamon Press, London, 1998.

cette année. Elle a débouché sur le mémoire de DEA d'Olivier Dupuis. Deux thèses Cifre (Freddy Deppner et Olivier Dupuis) ont démarré au 1er juillet 2000. L'un des deux sujets portent sur la prise en compte en ordonnancement des contraintes liées aux produits périssables et/ou aux produits volumineux. L'autre sujet s'intéresse à la gestion des ressources humaines. Il s'agit de gérer simultanément les services des personnels (horaires dynamiques, 35h, contraintes sociales) et la disponibilité nécessaire des personnels afin d'assurer la productivité souhaitable au niveau des ateliers afin de respecter au mieux les délais clients. Les possibilités de polyvalence des personnels doivent être prises en compte.

7.3 Contrat avec PREDICT SARL

Participants : Daniel Roy, Antony Vignier, François Vernadat.

La Société PREDICT SA, spécialisée dans les activités orientées sûreté et productivité des installations industrielles et tertiaires, souhaite se doter des moyens et compétences nécessaires à l'intégration de ses logiciels avec les grands systèmes d'information des entreprises. Elle a confié au projet MACSI une étude concernant l'intégration de ses logiciels (CASIP, HAZOP) à des outils tels que Enterprise Resource Planning (ERP), Enterprise Assets Management (EAM), Gestion de Production Assistée par Ordinateur (GPAO), Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO), Gestion et Achats et disposer à terme d'une plate-forme ou de ressources permettant de valider des besoins spécifiques. Ce contrat s'est déroulé de septembre 2000 à juin 2001. Des recommandations ont été faites concernant les aspects méthodologiques de développement logiciel (utilisation de UML, XML, patrons d'objet), l'extension des bases de données métier vers les bases de connaissances et l'utilisation des techniques de fouilles de données [42]. Une suite à ce contrat est envisagée avec l'INRIA sous forme de collaboration avec Orpailleur (raisonnement à base de cas) et MACSI.

7.4 Projet GROWTH ONE

Participants : Lyes Benyoucef, Hongwei Ding, Nidhal Rezg, Xiaolan Xie.

Ce projet Européen du programme GROWTH du 5e PCRD, démarré en 01 février 2001 et piloté par CRF-FIAT, porte sur l'optimisation des entreprises en réseau (Optimisation Methodology for Networked Enterprises). L'objectif de ce projet est de développer des modèles réalistes pour la conception et la gestion des chaînes logistiques en prenant compte des coûts, des délais, des impacts sociaux et environnementaux. L'INRIA contribue principalement à l'évaluation des performances et l'optimisation des chaînes logistiques stochastiques. La première année a été contribué à l'étude de l'état de l'art académique et industriel et à la définition des études de cas dans les secteurs automobiles et textiles. Partenaires : FIAT (I), RENAULT(F), POPILIA (I), Université de WARWICK (UK), CNRS-I2S (F), BIBA (D), INRIA (F) et INTRASOFT (GR).

7.5 Projet GROWTH V-chain

Participants : J.F. Gaytan Delgado, L. Ouzizi, M-C. Portmann, D. Roy, F. Vernadat.

Le projet V-CHAIN est un contrat UE Growth qui a démarré en mars 2001. Il concerne la définition et la gestion de chaînes logistiques de production manufacturière dans le cadre de l'entreprise virtuelle, c'est à dire d'un réseau de fournisseurs et de donneurs d'ordre partageant les risques et les profits de la production. Les domaines d'application concernent l'industrie automobile (Ford, Espagne) et la fabrication de motocyclettes (Aprilia, Italie). La première phase du projet (mars - octobre) a consisté à comprendre le passage d'entreprise étendue à l'entreprise virtuelle et à définir les caractéristiques des problèmes de planification et ordonnancement de la production distribuée pour les deux cas d'étude. Ce projet fait en partie l'objet de la thèse de Mme Latifa OUZIZI et un ingénieur expert a été embauché dans le cadre du contrat (M. Juan Francisco GAYTAN DELGADO). Partenaires : Ford (Espagne), Aprilia (Italie), DMR Consulting (Espagne), Université de Valencia, Université de Udine, INRIA-MACSI

7.6 Réseau Thématique GROWTH-TNEE

Participants : Lyes Benyoucef, Nidhal Rezg, Xiaolan Xie.

TNEE, démarré en 01 novembre 2001 et piloté par CRF-FIAT, est un réseau thématique ayant pour objectif de fédérer les nombreux projets Européens sur les entreprises en réseau. Il rassemble les leaders Européens des différents secteurs industriels y compris l'industrie manufacturière et l'industrie de service et les grands centres de recherche européens du domaine. Les principales actions sont : (i) échanges d'informations, (ii) définition de benchmarks et de meilleures pratiques, (iii) coordination des efforts, (iv) disséminations. L'INRIA s'appuie sur ses deux projets européens (ONE et V-CHAIN) et se focalise sur l'industrie automobile. Partenaires : CRF-FIAT (I), CNR-ITIA (I), MCC (SP), UPMAD (SP), ZEM (D), INRIA (F), University of Warwick (UK), BASF (D), FHD.IFF (D), IAI (Israel), BIBA (D), IVL(SW).

8 Actions régionales, nationales et internationales

8.1 Actions nationales

8.1.1 Action Coopérative MARS

L'action coopérative 1999-2001 MARS, dont Xiaolan Xie est le coordinateur, est financée par la direction de recherche de l'INRIA. Elle regroupe quatre partenaires : le projet Paragraphe de l'INRIA-Rennes, le projet MACSI de l'INRIA-Lorraine, le projet CLOVIS du LaBRI (Bordeaux), et le laboratoire L.S.V. de l'ENS-Cachan. Cette dernière année a vu les fruits de l'action MARS. Nous donnons ici quelques faits marquants. (i) L'équipe MACSI a proposé une approche de synthèse de commande des réseaux de Petri pour le problème d'états interdits fondée sur la théorie des régions développée à Rennes. Le prototype logiciel supportant cette méthode permet de contrôler des réseaux de Petri de dizaines de milliers d'états avec moins de dix places de contrôle. (ii) L'équipe LaBRI (Arnold, Vincent, Walukiewicz) a proposé une formulation extrêmement générale du problème de synthèse de commande en s'appuyant sur

le mu-calcul modal. Une approche originale fondée sur le jeu de parité a été proposée pour la construction de la politique de contrôle. L'implémentation informatique est en cours. (iii) L'équipe de Renne et l'équipe lorraine ont collaboré sur la synthèse de commande des graphes d'événements avec actions incontrôlables et/ou inobservables. Des résultats théoriques originaux ont été obtenus. Une approche fondée sur la programmation linéaire a été proposée pour la détermination des actions de contrôle. En dehors des résultats de recherche, cette dernière année a surtout été marquée par l'organisation du symposium SCODES (Supervisory Control of Discrete Event Systems), Paris, 23 juillet 2001. Ce symposium a permis de rassembler des spécialistes mondiaux dans ce domaine. Une sélection des articles présentés dans ce symposium sera publiée dans un livre édité chez Kluwer Academic Publishers [1].

Xiaolan Xie est membre du comité de pilotage du groupe " Réseaux de Petri Francophone ".

Pour plus de détails, voir la page web de l'action : <http://www.loria.fr/~xie/Mars.html>.

8.1.2 PPFs

Le PPF sur la conception et la gestion des organisations productives avec le laboratoire LRPS de Strasbourg s'est terminé fin 2000. Un nouveau PPF sur les processus de production flexibles en collaboration avec l'équipe de Patrick Charpentier du CRAN a été accepté dans le cadre du contrat quadriennal. Les travaux vont démarrer en 2002 par le co-encadrement d'un DEA.

8.1.3 Action GARP (Génie Algorithmique des Réseaux de Petri)

L'action GARP est une action de l'opération QSL (Qualité et Sécurité du Logiciel). Elle est financée par le contrat plan Etat-Région Lorraine, pour une période de 2 ans. Les participants sont Bruno Gaujal, responsable de GARP (Projet TRIO), Gülgün Alpan (projet MACSI, puis TRIO), Alain Jean-Marie (LIRMM, Montpellier) et Daniel Simon (Projet BIP, INRIA Rhône-Alpes). Cette action a pour but le développement d'algorithmes d'analyse des réseaux de Petri temporisés et implémentation dans l'outil ERS (ERS est un environnement logiciel tourné vers l'analyse des performances des systèmes à événements discrets. Les formalismes manipulés incluent les réseaux de Petri, graphes de tâches, files d'attente, " empilements de pièces ".) La participation de MACSI à cette action est dans le cadre du contrôle des réseaux de Petri. Une nouvelle approche par équations d'évolution trajectorielles (mise au point stratégie de contrôle qui permet d'éviter les inter-blocages si cela est possible. Entre autres activités, l'action a permis le financement d'un stagiaire, Rachit Chawla de l'Indian Institute of Technology (accueilli par TRIO) pendant l'été 2001. Dans MACSI, des développements ont été effectués par Mohand A. Soussi dans le cadre de son mémoire de DEA GSI [43] encadré par Gülgün Alpan. Il s'agissait de trouver une stratégie de contrôle qui améliore la vitesse du réseau tout en évitant la famine dans le réseau.

8.1.4 Groupe BERMUDES et GOTHA

Plusieurs membres du projet MACSI participent régulièrement aux activités du groupe de travail BERMUDES et du groupe de travail GOTHA. Tous deux concernent les problèmes

de recherche et d'enseignement de l'ordonnancement en France. Le groupe GOTHA comporte plus d'informaticiens et s'intéresse davantage aux aspects théoriques des problèmes d'ordonnancement. Le groupe BERMUDES comporte plus de producticiens et s'intéresse davantage aux aspects pragmatiques des problèmes d'ordonnancement. Mohamed Ali Aloulou, Riad Aggoune, Marie-Claude Portmann et Antony Vignier participent à un groupe de travail sur la flexibilité et la robustesse des ordonnancements créé l'an passé par le GOTHA.

Marie-Claude Portmann participe à des réunions pour obtenir la constitution d'un nouveau GDR de Recherche Opérationnelle qui contiendrait parmi ses thèmes d'activité les thèmes de BERMUDES et de GOTHA.

8.1.5 Groupement de Recherche en Productique (GRP)

Des membres de MACSI participent à l'occasion aux activités des groupes de travail du GRP (Groupement de recherche en productique), principalement ceux concernant la modélisation en entreprise (GT 5) et l'Automatisation et Systèmes Sûrs de Fonctionnement (groupe AS2F). Le GRP se réunit en général deux fois l'an.

8.1.6 Club génie industriel

Le Club de génie industriel a vocation à fédérer la communauté des enseignants-chercheurs en génie industriel, par nature fort interdisciplinaire. L'assemblée générale du Club a eu lieu à Metz fin novembre 2000 et des membres de MACSI (M.C. Portmann et F. Vernadat) ont participé à l'organisation du Congrès International de Génie Industriel tenu en mai à Aix-Marseille. Un séminaire de deux jours sur l'Ingénierie Simultanée a été organisé en janvier (organisateurs : D. Noyes et F. Vernadat) et deux séminaires d'un jour (un en novembre, un en mai) plus une session spéciale lors du Congrès ont été tenus sur la modélisation et la gestion des compétences impliquant des membres de MACSI. F. Vernadat, membre sortant du bureau du Club de GI, ne se représente pas.

8.2 Actions internationales

8.2.1 Actions de normalisation (CEN, ISO)

François Vernadat participe régulièrement depuis près de dix ans en tant qu'expert français aux travaux de comités de normalisation dans le domaine de la modélisation et de l'intégration d'entreprise. Pour 2000, l'activité a essentiellement concerné les travaux communs du CEN TC 310 et de l'ISO TC 184 SC5 WG1 concernant la finalisation du document ISO DIS 15 704 (Requirements for Enterprise Reference Architectures and Methodologies) qui devient IS en 2000 (<http://www.mel.nist.gov/sc5wg1>) et la révision de l'ENV 40 003 du CEN (Architecture for Enterprise Modelling).

8.2.2 IFAC-IFIP Task Force

F. Vernadat est vice-président de la IFAC-IFIP Task Force on Architectures for Enterprise Integration. A ce titre, il anime le groupe de travail de la Task Force sur le langage UEML (Unified Enterprise Modelling Language), qui s'est réuni le 19 septembre 2001 à Vienne lors de

la conférence IFAC INCOM'01. A l'issue de cette réunion, F. Vernadat a annoncé qu'il céda sa place à la tête du groupe de travail au Dr. Roland Jochem, IPK Berlin.

8.2.3 CIMOSA Association

F. Vernadat représente MACSI et le LGIPM au sein de la CIMOSA Association, association internationale chargée de la promotion de l'intégration d'entreprise et des technologies de modélisation associées. A ce titre, il a participé à la préparation de la 3ème Conférence Internationale on Enterprise Integration and Modeling Technologies (ICEIMT) qui doit avoir lieu les 24-26 avril 2002 à Valencia, Espagne. Comme les éditions précédentes, cette conférence est parrainées par la Commission Européenne et le NIST américain et sera précédée de quatre workshops de préparation (brainstorming d'une vingtaine d'experts invités).

8.2.4 DG INSO

F. Vernadat a été invité par la DG INFSO (Société de l'Information) de la Commission Européenne à participer en tant qu'expert du programme IST à plusieurs séances de préparation du 6ème Programme Cadre de Recherche et Développement (PCRD) concernant le thème Intéropérabilité de logiciels d'entreprise. A ce titre, il a aussi participé fin mai à l'évaluation des projets IST de l'appel à propositions de mars 2001 (Key Action II.2.2 Smart Organisations).

8.2.5 NSF-INRIA

Un projet de collaboration NSF-INRIA (10/2000 -09/2003) entre l'Université du Maryland (Prof. Fu) et le projet MACSI permet de développer des travaux en évaluation de performances de systèmes soumis à aléas avec prise en compte des activités de maintenance.

8.2.6 Collaboration avec l'Université Laval

Le réseau FM regroupant l'Université Laval (CANADA), L'Ecole Polytechnique de Montréal (CANADA), l'Ecole Supérieure de Science et Techniques de Tunis, et le LGIPM dont les membres messins font partie. Ce réseau porte sur la fiabilité et de la maintenance dans les systèmes de production.

Dans le cadre d'une collaboration avec l'Université Laval (Québec), Marie-Claude Portmann a travaillé avec le professeur Daoud Ait-Kadi sur l'optimisation de l'espérance mathématique des coûts d'une séquence de tests afin de trouver suffisamment de composants en panne pour pouvoir faire repartir un système qui vient de tomber en panne [ait-kadi01a].

8.2.7 CBI Grant

Gülgin Alpan, en collaboration avec Itir Karaesmen de Carnegie Mellon University, a reçu une bourse de Carnegie Bosch Institute (de 10000 dollars pour l'année 2001) pour poursuivre des études sur l'évaluation du contrôle de stock et des différentes politiques de gestion de capacités dans une chaîne d'approvisionnement internationale. En 2001, la bourse a permis des réunions de travail dans les deux pays respectifs (une visite pendant l'été aux USA et une

autre prévue fin novembre 2001 en France). Deux articles sont en cours de rédaction. La bourse est prolongée en 2002.

9 Diffusion de résultats

9.1 Animation de la Communauté scientifique

François Vernadat a été Président du comité scientifique de la 3ème Conférence Francophone de Modélisation et Simulation (MOSIM'01), Troyes, 25-27 avril 2001

François Vernadat a été Co-directeur du comité scientifique du 4ème Congrès International de Génie Industriel, Aix-Marseille, 12-15 juin 2001

Xialoan Xie a été Program chair du Symposium on the Supervisory Control of Discrete Event Systems (SCODES'2001), Paris, France, July 2001. L'action de recherche coopérative MARS, dont Xiaolan Xie est le coordinateur, a organisé le symposium SCODES2001, Paris, 23 juillet 2001. Ce symposium, un satellite workshop du congrès international CAV, porte sur la commande supervisée des systèmes à événements discrets. Il a rassemblé des spécialistes mondiaux dans ce domaine. Une sélection des articles présentés dans ce symposium sera publié dans un livre édité chez Kluwer Academic Publishers [L1].

Les trois professeurs de MACSI ont été membres de très nombreux comités scientifiques et comités d'organisation de conférences.

En 2000-2001, des membres de MACSI ont participé à la préparation de numéros spéciaux de revues :

Guest Editors (F. Vernadat and X.L. Xie), Special Issue on Modeling, Specification and Analysis of Manufacturing Systems, International Journal of Production Research, January 2001

Guest Editor (F. Vernadat), Special issues on Enterprise Modelling, Int. J. Production Planning & Control, Vol. 12, Nos 2 et 3, 2002.

Guest Editors (M.-D. Jeng and X.L. Xie), Special section on Semiconductor Manufacturing Systems : Modeling, Analysis, and Control, IEEE Transactions on Robotics and Automation, October 2001

Guest Editor (F. Vernadat), Special issue on Advances in modeling, control and integration of manufacturing facilities, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 14, No. 6, Nov.-Dec. 2001.

Guest Editor (F. Vernadat), Numéro spécial sur MOSIM'01, International Journal of Production Research, 2002.

Xiaolan Xie est nommé Associate Editor pour IEEE Transactions on Robotics and Automation à partir du juillet 2001.

François Vernadat est rédacteur en chef pour l'Europe de la revue International Journal of Computer Integrated Manufacturing.

François Vernadat est membre du comité scientifique des revues suivantes : International Journal of Production Research, International Journal of Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Computers in Industry, Design and Manufacturing Automation, Journal Européen des Systèmes Automatisés.

François Vernadat est vice-président des comités techniques de l'IFAC : IFAC TC-MIM on Manufacturing Modelling, Management and Control (président : Prof. A. Villa) et IFAC TC-MIA on Architectures for Enterprise Integration (Président : Dr. P. Bernus). Il est également vice-président du groupe de travail IFAC-IFIP Task Force on Architectures for Enterprise Integration depuis juillet 1999.

François Vernadat est expert français auprès du CEN TC 310 WG1 et de l'ISO TC 184 SC5 WG1 en modélisation d'entreprise et intégration d'entreprise.

Marie-Claude Portmann a été membre du comité d'évaluation du laboratoire PRISMA de Lyon (19 juin 2001).

9.2 Enseignement

Le projet MACSI comporte 9 enseignants-chercheurs permanents. Ceux-ci dispensent leurs enseignements dans plusieurs établissements universitaires, soit au titre de leur charge principale, soit en enseignements supplémentaires. On peut citer en particulier : l'ENIM et la Faculté des Sciences de Metz, l'ESIAL, l'ISIAL, l'ESSTIN et la Faculté des Sciences de l'UHP-Nancy 1, l'IUT d'informatique de Nancy 2, ainsi que l'Ecole des Mines de Nancy, l'ENSEM de l'INPL. En 2001, H. Amet est intervenu à l'Université Technologique de Wroclaw en Pologne (30 h).

G. Alpan, H. Amet et M.C. Portmann ont participé aux enseignements d'un master of sciences en Génie Industriel créé dans le cadre du groupement des Ecoles des Mines (GEM) et dont la majorité des enseignements sont assurés en anglais. Marie-Claude Portmann participe au groupe de travail en génie industriel (pour l'enseignement et la recherche) du groupement des Ecoles des Mines (GEM).

Du point de vue de la formation doctorale, MACSI relève de l'Ecole doctorale IAE + M de Nancy. Deux membres de MACSI interviennent dans le cadre du DEA de Production Automatisée (PA) de Nancy-Cachan en tronc commun (François Vernadat et Xiaolan Xie).

Marie-Claude Portmann est (pour la quatrième année consécutive) présidente de la Commission de Spécialistes 27ème section de l'INPL.

Antony Vignier est (pour la troisième année consécutive) directeur des études de l'ESIAL.

9.3 Participation à des colloques, séminaires, tutoriels, invitations

F. Vernadat a été invité à donner les séminaires suivants : - Modélisation des processus opérationnels d'entreprise dans une démarche qualité, Séminaire de l'Ecole Supérieure de Technologie de Fès / Université de Valenciennes / Faculté des Sciences et Techniques - Fès Saiss sur la Compétitivité des Entreprises face aux Enjeux de la Qualité, 2 novembre 2000, Fès, Maroc. - Enterprise Modeling and Integration Principles, 30 Janvier 2001, Université de Saarbrück, Allemagne - Techniques de modélisation et d'analyse pour l'organisation des systèmes industriels, 14-15 mai 2001, FUCaM, Mons, Belgique

Conférencier invité : - Vernadat, F. UEMML : Towards a Unified Enterprise Modelling Language. 3ème Conférence Francophone de Modélisation et Simulation (MOSIM'01), Troyes, France, 25-27 avril 2001.

Marie-Claude Portmann a été invité par l'Université Laval fin août 2001 dans le cadre d'une collaboration avec le professeur Daoud Ait Kadi. Elle a présenté un exposé dans la cadre du

laboratoire Centor sur la conception de familles d'ordonnancements prédictifs flexibles.

Gülğün Alpan s'est rendue à l'Université de Carnegie Mellon fin juillet 2001 dans le cadre de la collaboration scientifique liée à la bourse CBI Grant.

9.4 Invitations et personnes reçues

Visite du Professeur Alessandro Giua (Université de Cagliari), 15/07/2001 - 02/08/2001.

Visite de Mikhail Kovalyov (Institut de Cybernetic de l'Académie de Biélorussie de Minsk), 15/05/2001 - 30/05/2001

9.5 Jurys de thèses et d'habilitations

Les membres de MACSI ont pris part aux jurys suivants :

- F. Vernadat (depuis septembre 2000) : Philippe Levy (thèse, Université d'Aix-Marseille III, rapporteur), Djibril Ndiaye (thèse Ecole Centrale de Lille, rapporteur), Lionel Franchini (thèse Ecole des Mines d'Albi, rapporteur), Lilia Gzara (thèse, Institut National Polytechnique de Grenoble, rapporteur), Stéphanie Furon (thèse, Université de Valenciennes et du Hainaut Crambrésis, rapporteur), Claire Berchet (thèse, Institut National Polytechnique de Grenoble, rapporteur), Christian Clementz (thèse, Université de Metz, président du jury), Karim Saikali (thèse, Ecole Centrale de Lyon, rapporteur), Mauro Ferreira Koyama (thèse, Université de Metz et Université de Campinas, Brésil, directeur de thèse), Stefan Gerner (thèse, Institut National Polytechnique de Grenoble, rapporteur), Ioana Filipas (thèse, Université de Franche-Comté et Université Polytechnique de Timisoara, Roumanie, rapporteur), Thibaud Monteiro (thèse, Institut National Polytechnique de Grenoble, rapporteur)
- Marie-Claude Portmann : Dalila Tayachi (thèse, Institut Supérieur de Gestion, Université de Tunis III, rapporteur), Ameer Soukhal (thèse, Université de Tours, rapporteur), Slim Ouni (thèse, Université Henri Poincaré Nancy 1, rapporteur), Bernard Penz (HDR, INPG)
- Antony Vignier : Sylvain Bertel (thèse, Université de Tours)

10 Bibliographie

Livres et monographies

- [1] A. CAILLAUD, P. DARONDEAU, L. LAVAGNO, X. XIE, *Synthesis and Control of Discrete Event Systems, 1 ET 2*, Kluwer Academic Publishers, to appear, 237 pages.

Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [2] M. F. KOYAMA, *Architecture for shop floor control based on Generic Components*, Thèse de doctorat, Université de Metz, France et Université de Campinas, Brésil, Mars 2001, D. Anciaux et F. Vernadat.

Articles et chapitres de livre

- [3] G. ALPAN, M. JAFARI, « Synthesis of a Closed-loop Combined Plant and Controller Model », *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics : Part B*, 2001.
- [4] C. ARTIGUES, C. BRIAND, M.-C. PORTMANN, F. ROUBELLAT, « Pilotage d'atelier basé sur un ordonnancement flexible », in : *Pilotage des systèmes de production*, J. K. et P. Pujo (éditeur), Hermes, IC2 Productique, à paraître en 2002, ch. 5, p. 37 pages.
- [5] G. BERIO, F. VERNADAT, « Enterprise Modeling with CIMOSA : Functional and organizational aspects », *Production Planning & Control* 12, 2, 2001, p. 128–136.
- [6] L. BERRAH, F. VERNADAT, « Perception et évaluation de la production, approche de la performance dans le pilotage », in : *Pilotage des Systèmes de Production*, J. K. et P. Pujo (éditeur), Hermes, 2002, ch. 13, p. 25 pages.
- [7] M. JENG, X. XIE, « Modeling and Analysis of Semiconductor Manufacturing Systems with Degraded Behavior Using Petri Nets and Siphons », *IEEE Trans. Robot. Automat* 17, 5, 2001, p. 576–588.
- [8] Y. MATI, N. REZG, X.-L. XIE, « Geometric Approach and Taboo Search for Scheduling Flexible Manufacturing Systems », *IEEE Trans. Robot. Automat.*, à paraître.
- [9] Y. MATI, N. REZG, X.-L. XIE, « A Taboo Search Approach for Deadlock-free Scheduling of Automated Manufacturing Systems », *Journal of Intelligent Manufacturing* 12, 5/6, 2001, p. 535–552.
- [10] M.-C. PORTMANN, A. VIGNIER, « Algorithmes génétiques et Ordonnancement », in : *Ordonnancement de la production*, P. L. et François Roubellat (éditeur), IC2, Hermes, 2001, ch. 4, p. 95–130.
- [11] D. ROY, D. ANCIAUX, F. VERNADAT, « SYROCO : A Novel Multi-Agent Shop-floor Control System », *Journal of Intelligent Manufacturing* 12, 3, 2001, p. 295–307.
- [12] D. ROY, D. ANCIAUX, « Shop-Floor control : a Multi-agents Approach », *Int. J. Computer Integrated Manufacturing* 14, 6, 2001, p. 535–544.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [13] R. AGGOUNE, A. H. MAHDI, M.-C. PORTMANN, « Genetic Algorithms for the Flow Shop Scheduling Problem », in : *IEEE SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS 2001*, Tucson, Arizona, octobre 2001.
- [14] R. AGGOUNE, « Minimizing the Makespan for the Flow Shop Scheduling Problem with Availability Constraints », in : *ORP3*, septembre 2001.
- [15] M. A. ALOULOU, M. Y. KOVALYOV, M.-C. PORTMANN, « Single Machine Scheduling to Maximize Maximum Cost », in : *Fifth Workshop on Models and Algorithms for Planning and Scheduling Problems*, juin 2001.
- [16] M. A. ALOULOU, M.-C. PORTMANN, « Définition d'ordonnements flexibles. Première application à un problème à une machine. », in : *4ème Congrès International de Génie Industriel*, 2, p. 10, juin 2001.
- [17] M. A. ALOULOU, M.-C. PORTMANN, « Incorporating flexibility in job sequencing for the single machine total weighted tardiness problem with release dates », in : *10th IIE Annual Conference 2001*, Dallas, Texas, USA, I. of Industrial Engineers (éditeur), CD-ROM, Institute of Industrial Engineers, mai 2001.

- [18] L. BERRAH, V. CLIVILLÉ, N. HARZALLAH, A. HAURAT, F. VERNADAT, « A cyclic enterprise reengineering method », in : *Proc. 5th Int. Conf. On Engineering Design and Automation (EDA'2001)*, Las Vegas, NV, USA, 5-8 August 2001 2001.
- [19] L. BERRAH, V. CLIVILLÉ, N. HARZALLAH, A. HAURAT, F. VERNADAT, « Une démarche cyclique d'amélioration permanente pour la réorganisation de systèmes industriels », in : *Actes 4ème Congrès International de Génie Industriel*, Aix-Marseille, France, p. 513–521, 12-15 juin 2001.
- [20] A. GHAFFARI, N. REZG, X. XIE, « Conception du Superviseur Optimal Vivant à l'aide de la Théorie des Régions », in : *Proc. du congrès MSR2001*, Toulouse, France, Hermes (éditeur), Octobre 2001.
- [21] A. GHAFFARI, N. REZG, X. XIE, « Live and Maximally Permissive Controller Synthesis Using Theory of Regions », in : *Proc. du workshop SCODES*, Paris, France, K. A. Pulisher (éditeur), Juillet 2001.
- [22] A. GHAFFARI, N. REZG, X. XIE, « State Feedback Control Of Discrete Event Systems Using Marked Graphs », in : *Proc. of IEEE International Conference on Decision and Control*, Orlando, USA, December 2001.
- [23] M. HARZALLAH, F. VERNADAT, « A process modelling method for enterprise analysis and reengineering », in : *Actes du Congrès International Ingénierie des Systèmes et NTIC (Nimes TIC'2000)*, Nimes, France, p. 220–229, septembre 2000.
- [24] M. HARZALLAH, F. VERNADAT, « Un outil de gestion des compétences acquises et requises implanté à Trémery dans le Groupe PSA », in : *Actes 3ème Conférence Francophone de Modélisation et Simulation (MOSIM'01)*, Troyes, France, p. 699–706, 25-27 avril 2001.
- [25] N. HARZALLAH, F. VERNADAT, « De la gestion des compétences individuelles vers la gestion des compétences collectives : Réflexion sur un cas d'entreprise », in : *Actes 4ème Congrès International de Génie Industriel*, Aix-Marseille, France, p. 949–958, 12-15 juin 2001.
- [26] A. JANIAK, M. KOVALYOV, M.-C. PORTMANN, « Single Machine Batch Scheduling with Controllable Setup and Processing Times », in : *ECCO XIV, Conference of the European Chapter on Combinatorial Optimization*, Bonn, Germany, juin 2001.
- [27] A. JANIAK, M. KOVALYOV, M.-C. PORTMANN, « Single Machine Group Scheduling with Resource Dependent Setup and Processing Times », in : *MAPSP'2001, Fifth Workshop on Models and Algorithms for Planning and Scheduling Problems*, Aussois, France, juin 2001.
- [28] M. Y. KOVALYOV, M.-C. PORTMANN, R. AGGOUNE, « Permutation Schedules Are Good For Realistic Flow Shop », in : *IEPM'2001 - International Conference on Industrial Engineering and Production Management*, Université Laval, Quebec City, Canada, 2, CENTOR, Université Laval Québec (Can) et CREGI, Facultés Universitaires Catholiques de Mons (B), p. 1147–1155, août 2001.
- [29] Y. MATI, N. REZG, X.-L. XIE, « A Heuristic Approach for Scheduling FMS with Automated Guided Vehicles », in : *International Conference on Industrial Engineering and Production Management IEPM*, Quebec, August 20-23 2001.
- [30] Y. MATI, N. REZG, X.-L. XIE, « An integrated Greedy Heuristic for a Flexible Job Shop Scheduling Problem », in : *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Tucson, Arizona, USA, octobre 07-10 2001.
- [31] Y. MATI, N. REZG, X.-L. XIE, « Job Shop Scheduling Problem with Blocking : A Taboo Search Approach », in : *MIC'2001 4th Metaheuristics International*, Porto, Portugal, 16-20 July 2001.
- [32] Y. MATI, « On the Complexity of the two-job shop Problems with Multi-purpose Unrelated Machines », in : *Operational Research Peripatetic Post-Graduate Programmme, ORP3*, Paris, 2001.

- [33] M.-S. OUALI, N. REZG, X. XIE, « Maintenance préventive et optimisation des flux d'une ligne de production », *in* : *Proc. MOSIM2001, Troyes, France*, Avril 2001.
- [34] M.-C. PORTMANN, M. A. ALOULOU, « Data oriented genetic operators for one-machine scheduling problems », *in* : *Genetic and Evolutionary Computation Conference*, L. Spector (éditeur), Morgan Kaufmann Publishers, p. 1184, 340 Pine Street, Sixth Floor, San Francisco, CA 94104, juillet 2001.
- [35] M.-C. PORTMANN, M. A. ALOULOU, « Population improvement with data oriented genetic operators », *in* : *Genetic and Evolutionary Computation Conference, San Francisco, USA*, L. Spector (éditeur), p. 339–346, juillet 2001.
- [36] N. REZG, X. XIE, Y. MATI, « Une approche hybride pour l'optimisation de la maintenance basée sur la simulation et les algorithmes génétiques », *in* : *Proc. Congrès Génie Industriel, Aix-Provence-Marseille*, juin 2001.
- [37] F. VERNADAT, A. ABDMOULEH, S. BENHALLA, B. HEULLUY, « Towards a Unified Enterprise Modelling Language : UEML », *in* : *Proc. 5th Int. Conf. On Engineering Design and Automation (EDA'2001), Las Vegas, NV, USA*, p. CD-ROM, 5-8 August 2001.
- [38] F. VERNADAT, « UEML : Towards a Unified Enterprise Modelling Language », *in* : *Actes 3ème Conférence Francophone de Modélisation et Simulation (MOSIM'01), Troyes, France*, (Conférencier invité), p. 3–13, 25-27 avril 2001.

Rapports de recherche et publications internes

- [39] M. A. ALOULOU, K. MIKHAIL Y., M.-C. PORTMANN, « Maximization Problems in Single Machine Scheduling », *Rapport de recherche*, septembre 2001.
- [40] P. DARONDEAU, X. XIE, « Linear Control of Live Marked Graphs », *Research report rr-4251, inria, france*, Juillet 2001, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4251.html>.
- [41] A. JANIAC, M. KOVALYOV, M.-C. PORTMANN, « Single Machine Group Scheduling with Resource Dependent Setup and Processing Times », *Rapport de recherche*, LORIA, juillet 2001.
- [42] D. ROY, F. VERNADAT, « Intégration des outils logiciels orientés sûreté et productivité des installations industrielles et tertiaires dans le système d'information des entreprises. », *Rapport final de contrat de conseil no. 101f0204 00 51517 12 2 entre predict s.a.s. et inria*, juin 2001.
- [43] M. SOUSSI, « Amélioration des performances d'un système de production flexible en tenant compte du blocage », *mémoire de dea gsi, institut polytechnique de lorraine*, septembre 2001.