



INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE

Action SAGEP

Simulation, analyse et gestion des systèmes de production

INRIA Lorraine, Metz

THÈME 4B

*R*apport
d'Activité

1999

Table des matières

1	Composition de l'équipe	2
1.1	Composition de l'équipe	2
2	Présentation et objectifs généraux	2
2.1	Présentation et objectifs généraux	2
3	Fondements scientifiques	3
3.1	Ordonnancement	3
3.2	Systèmes PERT	3
3.3	Logistique	4
3.4	Systèmes complexes	5
4	Domaines d'applications	5
4.1	Panorama	5
4.2	Ordonnancement	5
4.3	Logistique	6
5	Logiciels	6
5.1	Ordonnancement et logistique	6
6	Résultats nouveaux	7
6.1	Ordonnancement temps réel et flexibilité des systèmes de production	7
7	Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)	8
7.1	Contrat européen INTAS	8
8	Actions régionales, nationales et internationales	8
8.1	Expertises nationales	8
8.2	Expertise européenne	8
8.3	Actions internationales	9
8.3.1	Conférences internationales	9
8.3.2	Revue internationale	9
8.3.3	Universités américaines	9
8.3.4	Université de Nouakchott	9
8.4	Visites et invitations de chercheurs	9
9	Diffusion de résultats	10
9.1	Animation de la Communauté scientifique : Séminaire GRDL	10
10	Bibliographie	10

1 Composition de l'équipe

1.1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Jean-Marie Proth [INRIA, DR 1]

Chercheurs doctorants

Fabrice Chauvet [jusqu'au 30/09/99]

Névine Hafez [jusqu'au 31/10/99]

Chercheur invité

Nicolaï Guschinsky [Directeur de Recherche, Institute of Engineering Cybernetics, Minsk, Biélorussie]

Chercheurs extérieurs

Jeffrey W. Herrmann [Associate Professor, Director of the CIM Lab., University of Maryland at College Park, Etats-Unis]

Yorai Wardi [Professor, Georgia tech., Atlanta, Etats-Unis]

Valery Gordon [Professor, Institute of Engineering Cybernetics, Minsk, Biélorussie]

Alexandre Dolgui [Maître de Conférence, Université de Troyes]

Eugène Levner [Professeur, Université de Tel-Aviv, Holon, Israël]

2 Présentation et objectifs généraux

2.1 Présentation et objectifs généraux

L'objectif de SAGEP est de développer des outils et des méthodes propres à faciliter la conception préliminaire et l'évaluation des systèmes dynamiques, et en particulier des systèmes industriels.

Cet objectif général se décline essentiellement en quatre sous-objectifs pour l'année 1999 :

- ordonnancement, et en particulier ordonnancement temps réel avec contrôle des stocks intermédiaires,
- généralisation des systèmes PERT aux cas où des alternatives sont possibles,
- management de systèmes logistiques,
- approche globale du management de systèmes complexes (Supply Chains).

3 Fondements scientifiques

3.1 Ordonnancement

Mots clés : Temps réel, Ordonnancement cyclique, Réseau de Petri, Ordonnancement sans attente (no wait).

Participants : Fabrice Chauvet, Alexandre Dolgui, Valery Gordon, Nicolaï Guschinsky, Eugène Levner, Jean-Marie Proth.

Glossaire :

Temps réel capacité de décider en un temps suffisamment court pour ne pas perturber l'évolution du système physique

Ordonnancement cyclique ordonnancement répétitif

Réseau de Petri graphe bi-partie pour la modélisation de systèmes discrets

Ordonnancement sans attente (no wait) se dit d'un ordonnancement tel qu'aucune période d'attente n'intervient entre deux opérations successives

Résumé : *L'objectif est de proposer des approches qui permettent d'ordonner les commandes au fur et à mesure de leur arrivée en minimisant le cycle de production tout en réduisant les en-cours.*

Les travaux effectués dans le domaine de l'ordonnancement concernent l'ordonnancement cyclique et l'ordonnancement temps réel.

L'ordonnancement cyclique utilise et, éventuellement, enrichit les réseaux de Petri pour construire des solutions qui maximisent la productivité d'un système manufacturier tout en minimisant les stocks intermédiaires, connaissant la séquence d'entrée dans l'une des ressources goulot. Une première approche se trouve dans [19] et dans un papier soumis à IEEE Transactions on Robotics and Automation. Les travaux actuels visent à se libérer de la connaissance de la séquence d'entrée dans la ressource goulot en construisant l'ordonnancement pas à pas, et en évaluant les ordonnancements par l'utilisation des propriétés des RdP et, si besoin est, de la simulation.

L'ordonnancement temps réel des systèmes manufacturiers nous a conduit à développer une méthodologie entièrement nouvelle. À partir de propriétés établies sur des démarches originales que nous proposons, nous avons construit des algorithmes polynomiaux et optimaux qui couvrent l'essentiel des problèmes de production industrielle. Il faut noter que notre démarche n'exige aucun pré-requis. Ce domaine a absorbé une grande partie de notre effort des années 98 et 99. Des résultats peuvent être trouvés dans [1], [5] et [22].

3.2 Systèmes PERT

Mots clés : PERT étendu, Gammes alternatives.

Participants : Fabrice Chauvet, Eugène Levner, Jean-Marie Proth.

Glossaire :

PERT étendu PERT qui prend en compte la possibilité d'exécuter une série d'opérations

de plusieurs manières différentes

Gammes alternatives gammes de fabrication différentes qui permettent d'obtenir le même produit fini ou semi-fini en partant du (des) même(s) élément(s) (matières premières et/ou composants)

Résumé : *L'objectif est de mettre en place une approche de type PERT intégrant la possibilité de choisir entre des solutions équivalentes.*

La généralisation des systèmes PERT aux cas où des alternatives sont possibles nous a été suggérée par des problèmes industriels. La gestion de projets demande souvent que soient choisies les activités à exécuter dans un ensemble d'activités équivalentes. La durée requise pour exécuter le projet, c'est-à-dire le "makespan", dépend de ce choix. Nous cherchons à sélectionner les activités et à calculer le makespan simultanément. Nous appelons ce problème Problème PERT avec Alternatives (PPA). Le modèle correspondant à ce problème est similaire au graphe PERT conventionnel, excepté que deux types de nœuds sont utilisés pour représenter soit le choix entre plusieurs activités alternatives (nœud OR), soit le fait qu'un ensemble d'activités doit être terminé avant qu'un autre ensemble d'activités puisse commencer (nœud AND). Ici encore, nous avons établi des résultats nouveaux et développé des approches spécifiques. Des résultats figurent dans [13], [20] et [23].

3.3 Logistique

Mots clés : Libre service, Véhicule électrique, Transport urbain, Praxitèle.

Participants : Fabrice Chauvet, Névine Hafez, Michel Parent, Jean-Marie Proth.

Glossaire :

Libre service le client prend possession d'un véhicule sans intermédiaire

Véhicule électrique tire son énergie de ses batteries

Transport urbain transport dédié à une ville

Praxitèle projet de transport urbain à base de véhicules électriques auquel l'INRIA a participé

Résumé : *L'objectif est de gérer l'utilisation et la recharge des véhicules électriques dans un système de transport urbain en libre service.*

Les travaux relatifs à la logistique se sont concentrés sur les systèmes de transport à base de voitures électriques en libre-service. Ce type de système pose deux problèmes majeurs : le rééquilibrage du système en cours d'utilisation et la recharge des batteries en tenant compte des contraintes techniques. Ces problèmes sont fortement liés. Notre travail s'est attaché à déterminer dans quelles conditions ces deux problèmes peuvent être résolus de manière indépendante. Ici encore, l'approche proposée est spécifique. Malgré une somme de travail considérable et des résultats qui ont été appliqués, ce type de problème demande encore d'importants efforts de formalisation qui ne pourront aboutir que si un effort de standardisation est fait du côté des industriels. Parmi les publications citées, [2] et [4] traitent de ce problème.

3.4 Systèmes complexes

Mots clés : Chaîne d'approvisionnement, Temps réel, Production orientée demande.

Participant : Jean-Marie Proth.

Glossaire :

Chaîne d'approvisionnement ensemble des acteurs qui conduisent de la matière première au produit fini ; sous-entend une gestion par projet

Temps réel capacité de décider en un temps suffisamment court pour ne pas perturber l'évolution du système physique

Production orientée demande production basée sur les désirs exprimés par les clients potentiels

Résumé : *Le travail effectué a consisté essentiellement à faire le point des travaux et à explorer les possibilités offertes par la recherche opérationnelle dans ce domaine.*

L'approche globale du management de systèmes complexes (Supply Chains) veut réussir la gageure de proposer un système qui garantit un optimum global sachant que des agents locaux optimisent les sous-systèmes dont ils ont la charge. Nous nous intéressons particulièrement à la traduction de l'approche au niveau stratégique des entreprises. Les méthodes envisagées sont, pour l'instant, les méthodes classiques de la recherche opérationnelle. Un livre est en préparation.

4 Domaines d'applications

4.1 Panorama

Résumé : *L'ensemble des travaux dont il est question dans ce rapport va dans le sens d'une gestion temps réel et à flux tendu des systèmes de production. L'exception est le thème " Logistique ", résolument orienté application mais dont certains résultats sont applicables aux systèmes de production complexes pour lesquels une logistique efficace est un facteur déterminant.*

4.2 Ordonnancement

Mots clés : Temps réel, Flux tendu, Système flexible, Réseau de Petri.

Participants : Fabrice Chauvet, Alexandre Dolgui, Valery Gordon, Nicolaï Guschinsky, Eugène Levner, Jean-Marie Proth.

Glossaire :

Temps réel capacité de décider en un temps suffisamment court pour ne pas perturber l'évolution du système physique

Flux tendu approche tendant à éliminer les en-cours

Système flexible système présentant une grande adaptabilité aux variations de l'environnement

Réseau de Petri graphe bi-partie pour la modélisation de systèmes discrets

Résumé : *Les approches proposées ont été développées, pour une grande part, dans le cadre du contrat INTAS dont il est question par ailleurs. L'objectif de INTAS est de fournir des outils d'ordonnancement allant dans le sens du temps réel et de la flexibilité.*

L'ordonnancement cyclique s'applique aux systèmes de production automatisés et, plus généralement, aux systèmes de production dont la variété relativement limitée et le débit permettent d'envisager de produire des séquences de lots identiques. Une heuristique rapide, basée sur les réseaux de Petri, a été proposée.

L'ordonnancement en temps réel est évidemment l'avenir de la production, laquelle doit réagir aux demandes des clients dès qu'elles se manifestent. De ce point de vue, les résultats obtenus sont particulièrement intéressants car ils permettent d'ordonnancer une commande dans le flot des en-cours dès son apparition. Des algorithmes polynomiaux ont été mis en place. A noter que nous commençons à nous intéresser à l'ordonnancement en temps réel des tâches des dernières générations de radars.

4.3 Logistique

Mots clés : Libre service, Véhicule électrique, Transport urbain, Praxitèle.

Participants : Fabrice Chauvet, Névine Hafez, Michel Parent, Jean-Marie Proth.

Glossaire :

Libre service le client prend possession d'un véhicule sans intermédiaire

Véhicule électrique tire son énergie de ses batteries

Transport urbain transport dédié à une ville

Praxitèle projet de transport urbain à base de véhicules électriques auquel l'INRIA a participé

Résumé : *Les travaux développés ont fourni un logiciel de simulation et une aide à la gestion aux responsables de l'implantation de Saint Quentin en Yvelines.*

Les travaux relatifs à la logistique concernent Praxitèle et son application de Saint Quentin en Yvelines. Un travail en symbiose, dans lequel Mademoiselle Névine Hafez a joué un rôle de transfert permanent, s'est déroulé tout au long du projet. Des réflexions sont en cours pour la poursuite de ces études qui sont centrales pour le succès des systèmes de transport en libre-service.

5 Logiciels

5.1 Ordonnancement et logistique

Mots clés : Ordonnancement temps réel, Contrôle des en-cours, Simulation d'un

système de transport urbain.

Participants : Fabrice Chauvet, Valery Gordon, Nicolaï Guschinsky, Névine Hafez.

Glossaire :

Ordonnancement temps réel procédure suffisamment rapide pour ne pas retarder l'évolution du système physique concerné

Contrôle des en-cours action sur le niveau des produits en cours de fabrication et qui sont en attente

Simulation d'un système de transport urbain logiciel de simulation regroupant l'ensemble des résultats de la recherche et permettant de tester les différentes politiques de gestion des voitures et de recharge obtenues

Résumé : *Les logiciels suivants ont été développés :*

- *conception d'un système de transport urbain en libre service et simulation,*
- *ordonnancement temps réel avec contrôle des en-cours.*

Un logiciel regroupant les résultats sur la gestion des véhicules et de leur recharge a été développé dans le cadre de la thèse de Mademoiselle Hafez.

Tous les algorithmes proposés dans la thèse de Monsieur Chauvet ont conduit à un second logiciel.

6 Résultats nouveaux

6.1 Ordonnancement temps réel et flexibilité des systèmes de production

Mots clés : Temps réel, Contrôle des en-cours.

Participants : Fabrice Chauvet, Eugène Levner, Jean-Marie Proth.

Glossaire :

Temps réel capacité de décider en un temps suffisamment court pour ne pas perturber l'évolution du système physique

Contrôle des en-cours action sur le niveau des produits en cours de fabrication et qui sont en attente

Résumé : *Les résultats obtenus permettent l'ordonnancement des systèmes manufacturiers en temps réel, tout en contrôlant les en-cours. Ils se sont traduits sous forme d'algorithmes polynomiaux exacts.*

De notre point de vue, les résultats nouveaux les plus intéressants sont ceux qui permettent l'ordonnancement en temps réel, tout en contrôlant les en-cours, de systèmes de type Flow-Shop, Job-Shop ou assemblage et que l'on pourra trouver dans la littérature citée. Les résultats les plus significatifs sont ceux qui ont conduit à démontrer l'optimalité des résultats obtenus à l'aide des algorithmes proposés.

Sont également à souligner les résultats obtenus relatifs au système PERT avec alternatives. (voir les références). Ils devraient permettre, à terme, de réduire la complexité des calculs dans le cas de gammes alternatives.

7 Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)

7.1 Contrat européen INTAS

Mots clés : Temps réel, Ordonnancement cyclique, Réseau de Petri, Ordonnancement sans attente (no wait).

Participants : Fabrice Chauvet, Alexandre Dolgui, Valery Gordon, Nicolaï Guschinsky, Eugène Levner, Jean-Marie Proth.

Glossaire :

Temps réel capacité de décider en un temps suffisamment court pour ne pas perturber l'évolution du système physique

Ordonnancement cyclique ordonnancement répétitif

Réseau de Petri graphe bi-partie pour la modélisation de systèmes discrets

Ordonnancement sans attente (no wait) se dit d'un ordonnancement tel qu'aucune période d'attente n'intervient entre deux opérations successives

Résumé : *L'objectif de INTAS est de fournir des outils efficaces pour l'ordonnancement de systèmes discrets contraints.*

SAGEP est leader du contrat européen INTAS 96-820 dont l'objectif est de développer des approches générales efficaces pour la résolution de problèmes d'optimisation discrets qui se posent en production industrielle et en informatique. Les partenaires sont l'Université Joseph Fourier (Grenoble), l'Université de Troyes, l'Université de Sarrebruck, l'Université de Gratz, et les Académies des Sciences de Minsk et de Russie. Les résultats figurent essentiellement dans [9], [11], [14], [15], [16], [17], [18] et [24].

8 Actions régionales, nationales et internationales

8.1 Expertises nationales

Participant : Jean-Marie Proth.

Expertises pour l'ANVAR.

Coordination des contrats de recherche pour la Région Rhône-Alpes.

8.2 Expertise européenne

Participant : Jean-Marie Proth.

Expertise pour les Communautés Européennes (project MASCADA 22728), 1998-2000.

8.3 Actions internationales

8.3.1 Conférences internationales

Participant : Jean-Marie Proth.

Participation active au comité scientifique du "7th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation", 18-21 octobre 1999, Barcelone (Espagne).

Président du "Workshop INTAS on Scheduling", 6 septembre 1999, Sarrebruck, Allemagne.

8.3.2 Revues internationales

Participant : Jean-Marie Proth.

Lecteur pour les journaux suivants (extrait):

- IEEE Transactions on Robotics and Automation,
- Applied Stochastic Models and Data analysis,
- European Journal of Operational Research,
- International Journal of Production Research,
- International Journal of Production Economics,
- Journal Européen des Systèmes Automatisés (JESA),
- Stochastic Models in Business and Industry.

Membre du comité scientifique des journaux suivants :

- Journal of Intelligent Manufacturing,
- International Journal of Production Economics,
- Stochastic Models in Business and Industry.

8.3.3 Universités américaines

Participant : Jean-Marie Proth.

Recherches communes avec l'Université du Maryland (College Park) et Georgia Tech (Atlanta).

8.3.4 Université de Nouakchott

Participant : Jean-Marie Proth.

Participation à l'opération de professionnalisation du Département scientifique de l'Université de Nouakchott (Mauritanie).

8.4 Visites et invitations de chercheurs

Séjour de trois mois du Professeur Nicolaï Guschinsky pour les travaux de Recherche Opérationnelle et d'ordonnancement.

9 Diffusion de résultats

9.1 Animation de la Communauté scientifique : Séminaire GRDL

Séminaire sur le sujet "Supply Chain philosophy at the strategic level", organisé par le "Groupe permanent de Recherche et Développement de Louvain", à Luxembourg le 19 mai 1999. Ce groupe réunit les décideurs de plus haut niveau des entreprises et universités belges et luxembourgeoises. Son objectif est de promouvoir la collaboration entre recherche et industrie.

Membre du comité scientifique des journaux suivants :

- Journal of Intelligent Manufacturing,
- International Journal of Production Economics,
- Stochastic Models in Business and Industry.

10 Bibliographie

Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [1] F. CHAUVET, *Ordonnancement en temps réel dans les problèmes à en-cours limités*, thèse de doctorat, Université de Metz, septembre 1999.
- [2] N. HAFEZ, *Conditions d'équilibre et gestion d'unités de transport en libre service avec demandes aléatoires*, thèse de doctorat, Université de Metz, octobre 1999.
- [3] A. HAUBA, *Modélisation et évaluation du comportement de systèmes dynamiques. Application aux systèmes de production et à l'économie*, habilitation à diriger des recherches, Université de Metz, juin 1999.

Articles et chapitres de livre

- [4] F. CHAUVET, N. HAFEZ, J.-M. PROTH, « Electric Vehicles: Effect of the Availability Threshold on the Transportation Cost », *Applied Stochastic Models in Business and Industry* 15, 1999.
- [5] F. CHAUVET, E. LEVNER, J.-M. PROTH, « On-line Part Scheduling in a Surface Treatment System », *European Journal of Operational Research* 120, 2, 1999.
- [6] H. CHEN, C. CHU, J.-M. PROTH, « Job-shop scheduling using Lagrangian relaxation », *IEEE Transactions on Robotics and Automation* 4, 5, 1999, Award: Best paper published in IEEE Transactions on Robotics and Automation.
- [7] M. GOVIL, I. MINIS, J.-M. PROTH, « Prediction of average queue length in manufacturing resources at the time of new lot arrival », *Stochastic Models in Business and Industry* 15, 1999.
- [8] J. W. HERRMANN, G. IOANNOU, I. MINIS, J.-M. PROTH, « Minimization of acquisition and operational costs in horizontal material handling system design », *IIE Transactions* 31, 7, 1999.
- [9] V. MARTYNCHIK, M. MIATSELSKI, J.-M. PROTH, « Computing pair placements of geometric objects being optimal with respect to minimisation of the intersection area », *Computational Mathematics and Mathematical Physics accepted pour publication*, 1999.
- [10] J.-M. PROTH, « Ateliers flexibles », in : *Encyclopédie de la Gestion et du Management*, R. L. Duff (éditeur), Dalloz, 1999.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [11] F. BALDUZZ, E. CANUTO, J.-M. PROTH, « Hybrid Control of Production Systems with Local Optimisation », *in: Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, Barcelone (Espagne), 1999.
- [12] F. CHAUVET, J.-M. PROTH, « Design of Telecommunication Networks », *in: Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, Barcelone (Espagne), 1999.
- [13] F. CHAUVET, J.-M. PROTH, « Extension of the PERT networks to alternative activities », *in: Proceedings of ROADEF'99*, Autrans (Vercors), 1999.
- [14] C. CHU, V. GORDON, J.-M. PROTH, « Parallel Machine Scheduling with Common Due Date », *in: Proceedings of the 7th IASTED International Conference on Applied Informatics*, Innsbruck (Autriche), 1999.
- [15] N. GUSCHINSKY, G. LEVIN, J.-M. PROTH, « An Unified Approach to find an Optimal Parametrized Path in a Digraph with Multiple Features », *in: Proceedings of the Second INTAS Workshop*, Sarrebruck (Allemagne), 1999.
- [16] V. KRIKUN, V. MARTYNCHIK, M. MIATSELSKI, J.-M. PROTH, « Optimal pair placements of VLSI circuits' blocks », *in: Proceedings of the Third International Conference "Computer-Aided Design of Discrete Devices" (CAD DD'99)*, Minsk (Russie), 1999.
- [17] M. MIATSELSKI, V. MARTYNCHIK, J.-M. PROTH, « Combinatorially determined placement problems », *in: Proceedings of the Symposium on Operations Research (SOR'99)*, Magdeburg (Allemagne), 1999.
- [18] M. MIATSELSKI, J.-M. PROTH, « Hierarchical placement and layout problems », *in: Proceedings of the Second INTAS Workshop*, Sarrebruck (Allemagne), 1999.

Rapports de recherche et publications internes

- [19] F. CHAUVET, J. W. HERRMANN, J.-M. PROTH, « Towards optimization of Cyclic Production Systems », *publication interne n° 3721*, Inria, 1999.
- [20] F. CHAUVET, E. LEVNER, J.-M. PROTH, « On PERT Networks with Alternatives », *publication interne n° 3583*, Inria, 1999.
- [21] F. CHAUVET, J.-M. PROTH, A. SOUMARÉ, « The simple and multiple job assignment problem », *publication interne n° 3744*, Inria, 1999.
- [22] F. CHAUVET, J.-M. PROTH, Y. WARDI, « On-line Scheduling with WIP Regulation », *publication interne n° 3432*, Inria, 1999.
- [23] F. CHAUVET, J.-M. PROTH, « The PERT Problem with Alternatives: Modelisation and Optimization », *publication interne n° 3651*, Inria, 1999.
- [24] N. GUSCHINSKY, G. LEVIN, J.-M. PROTH, « An Unified Approach to find an Optimal Parametrized Path in a Digraph with Multiple features », *publication interne n° 3745*, Inria, 1999.