

*Équipe sagep*

*Simulation, analyse et gestion des systèmes  
de production*

*Lorraine*

THÈME 4B

*R* *apport*  
*d'Activité*

2002



# Table des matières

<b>1. Composition de l'équipe</b>	<b>1</b>
<b>2. Présentation et objectifs généraux</b>	<b>1</b>
<b>3. Fondements scientifiques</b>	<b>1</b>
3.1. Ordonnancement "temps réel"	1
3.2. Ordonnancement en fonction des délais	2
3.3. Conception des chaînes d'approvisionnement	2
3.4. Logistique	3
<b>4. Domaines d'application</b>	<b>3</b>
4.1. Gestion des radars de combat	3
4.2. Aide à la conception de chaînes d'approvisionnement	3
4.3. Aide au choix des trajets	3
<b>5. Logiciels</b>	<b>3</b>
5.1. Logiciel CAD-SC-SL	3
5.2. Logiciel "Radar"	4
<b>6. Résultats nouveaux</b>	<b>4</b>
6.1. Ordonnancement temps réel pour l'assemblage	4
6.2. Affectation	4
<b>7. Contrats industriels</b>	<b>4</b>
7.1. Renault	4
7.2. INTAS (projet no217)	4
7.3. IMARA	4
<b>8. Actions régionales, nationales et internationales</b>	<b>4</b>
8.1. Actions internationales	4
8.2. Accueil de chercheurs étrangers	5
<b>9. Diffusion des résultats</b>	<b>5</b>
9.1. Animation de la communauté scientifique	5
9.2. Enseignement	5
<b>10. Bibliographie</b>	<b>5</b>



# 1. Composition de l'équipe

## Responsable scientifique

Jean-Marie Proth [DR 1, INRIA]

## Assistante de l'équipe

Christel Wiemert [à temps partiel, AI INRIA]

## Chercheurs doctorants

Anjali Awasthi [boursière INRIA]

Satyaveer Singh Chauhan [boursier INRIA, cofinancé par la Région Lorraine]

Cyril Duron [boursier INRIA]

# 2. Présentation et objectifs généraux

L'équipe SAGEP travaille dans les domaines suivants :

- conception de systèmes à événements discrets,
- contrôle de systèmes à événements discrets,
- logistique.

Dans ce cadre, SAGEP est confronté à des problèmes de modélisation et d'optimisation (en particulier, des problèmes d'ordonnancement). SAGEP développe également des logiciels destinés à mettre en oeuvre ses résultats. Enfin, un effort tout particulier est consenti pour la diffusion des résultats (publications et livres).

# 3. Fondements scientifiques

## 3.1. Ordonnancement "temps réel"

**Mots clés :** *Ordonnancement, Assemblage, Temps réel.*

**Participants :** Satyaveer Singh Chauhan, Cyril Duron, Jean-Marie Proth.

Les applications de notre démarche concernent deux domaines : le contrôle des radars de combat et l'ordonnancement des tâches dans les chaînes d'approvisionnement. Dans le premier cas, l'objectif est d'intercaler une tâche composée de sous-tâches fortement liées dans un ordonnancement existant ; ce problème est dit "à une machine", et on s'autorise des perturbations limitées de l'ordonnancement existant. L'ordonnancement des tâches dans les chaînes d'approvisionnement concerne des systèmes d'assemblage, et l'objectif est d'utiliser au mieux les périodes de disponibilité des ressources. La contrainte "temps réel" est impérative.

La recherche en ordonnancement a évolué fondamentalement au cours des dix dernières années du fait, d'une part de l'évolution des systèmes informatiques et de communication et, d'autre part et pour ce qui concerne les systèmes de production, du fait des contraintes du marché. Désormais, on remet peu en question les ordonnancements antérieurs, mais on intègre les tâches nouvelles sous la contrainte "temps réel" de façon, soit à utiliser au mieux les ressources disponibles, soit à exécuter les nouvelles tâches pour une date précise.

Dans le cas des radars de combat, l'apparition d'un écho nécessite une vérification immédiate, sachant que des tâches routinières sont déjà ordonnancées. La vérification se traduit par l'exécution d'un train de bitâches (c'est à dire deux tâches séparées par une période d'attente), les bitâches étant elles-mêmes séparées par des périodes données. L'objectif est d'utiliser au mieux les périodes d'inactivité du radar. Un retardement limité des tâches déjà ordonnancées est autorisé, et la vérification doit être terminée à une date donnée (de l'ordre de la seconde après son apparition). Le problème est NP-complet, ce qui a nécessité le développement d'heuristiques (voir [17], [21] et [28]). Ce sujet fait également l'objet de la thèse de Monsieur Cyril DURON (voir [12]).

Les chaînes d'approvisionnement nécessitent que soient ordonnancées les tâches relatives à un produit ou un ensemble de produits de l'acquisition de la matière première jusqu'à la livraison. Par contre, des tâches déjà ordonnancées ne peuvent pas être ré-ordonnancées, car l'ordonnancement correspond à un engagement auprès du client. Par conséquent, il s'agit d'utiliser au mieux les périodes de disponibilité des ressources pour traiter une nouvelle commande, l'ordonnancement devant se faire dans la minute (par téléphone, fax ou e-mail). Le travail accompli cette année est répertorié dans [19] et [24] et fera partie de la thèse de Monsieur CHAUHAN. L'algorithme proposé conduit à une solution optimale au sens du makespan.

### 3.2. Ordonnancement en fonction des délais

**Mots clés :** *Ordonnancement, Délais.*

**Participant :** Jean-Marie Proth.

L'objectif de ce travail était de prolonger et de clore nos activités d'ajustement des fins d'exécution d'ensemble de tâches aux délais. Nous avons également eu l'ambition de faire un état de l'art de ces problèmes.

Un travail de fond, destiné à clore notre activité sur les problèmes d'ordonnancement gouvernés par les délais et à produire un état de l'art de la complexité de ces problèmes, a été mené avec les Professeurs V. Gordon (Minsk), C. Chu (Troyes) et G. Finke (Grenoble). Ce travail est publié dans [15], [16], [19] et [23]. Ce travail est théorique et ses ambitions applicatives sont limitées.

### 3.3. Conception des chaînes d'approvisionnement

**Mots clés :** *Affectation, Chaînes d'approvisionnement, Conception, Modélisation.*

**Participants :** Satyaveer Singh Chauhan, Jean-Marie Proth.

Ce travail s'organise autour de deux axes :

- conception d'une chaîne d'approvisionnement,
- résolution de problèmes de recherche opérationnelle afférents.

Cette année a vu la fin du développement du logiciel CAD-SC-SL (Computer Aided Design of a Supply Chain at the Strategic Level). Ce logiciel générique est une aide à la conception d'une chaîne d'approvisionnement. Nous y reviendrons.

La conception de ce logiciel a mis en évidence des problèmes de recherche opérationnelle dont :

- Des problèmes d'affectation de fournisseurs à des unités de fabrication sous des contraintes particulières. Un résultat pourra être trouvé dans [13].
- Des problèmes de sélection de participants à une chaîne d'approvisionnement en cours de formation : deux communications ont été soumises. Ce travail se développe en collaboration avec le Professeur R. Nagi (Université de New York). Voir [26] et [25].
- Un problème d'optimisation des instants de commande pour des systèmes d'assemblage lorsque les temps de livraison sont aléatoires (en cours). Ce travail se fait en collaboration avec le Professeur A. Dolgui (Troyes).
- Un problème de locations des en-cours (en cours d'analyse).

Ces travaux feront partie de la thèse de Monsieur Chauhan. Ils s'inscrivent dans le cadre du livre [10] qui paraîtra chez Hermès début 2003, ainsi que du livre [11] paru en janvier 2002 chez Academic Press.

### 3.4. Logistique

**Mots clés :** *Analyse des réseaux de transport, Optimisation de transport.*

**Participants :** Anjali Awasthi, Michel Parent, Jean-Marie Proth.

L'objectif de ce travail est le guidage de véhicules automatisés sur un réseau spécifique. Nous nous attachons à modéliser le déplacement d'un véhicule dans un réseau dont l'état varie en fonction des flux d'entrée.

L'objectif final de ce travail est la décomposition d'un réseau complexe en sous-réseaux et l'évaluation de chacun de ces sous-réseaux en fonction des flux d'entrée. Nous proposerons ainsi une aide à la conduite basée sur un système décisionnel hiérarchisé.

Nous venons de terminer l'étude détaillée du comportement d'un véhicule dans une voie rectiligne en fonction de l'encombrement de cette voie et la standardisation de ce comportement. Ce travail figure dans [24]. Nous avons commencé l'intégration de ces résultats dans un réseau complet.

Madame Awasthi est délocalisée dans l'équipe IMARA de Rocquencourt qui développe ce type de système.

## 4. Domaines d'application

### 4.1. Gestion des radars de combat

**Mots clés :** *Ordonnancement, Radar de combat multifonction.*

Les travaux sur l'ordonnancement en temps réel ont conduit au résultat rapporté dans [17]. En particulier, les travaux que nous avons menés conduisent à l'utilisation des périodes d'attente entre sous-tâches, tout en satisfaisant la contrainte "temps réel".

### 4.2. Aide à la conception de chaînes d'approvisionnement

**Mots clés :** *Chaîne d'approvisionnement, Conception, Optimisation.*

Les travaux mentionnés ci-dessus permettent, par l'intermédiaire du logiciel décrit ci-dessous, de guider le concepteur dans l'évaluation économique et opérationnelle de ses décisions.

### 4.3. Aide au choix des trajets

**Mots clés :** *Analyse du trafic, Optimisation des trajets.*

L'objectif est de fournir une aide hiérarchisée au déplacement dans un réseau consacré aux véhicules automatisés.

## 5. Logiciels

### 5.1. Logiciel CAD-SC-SL

Dédié à la conception des chaînes d'approvisionnement, il sera présenté à des industriels dès janvier 2003. Son objectif est :

- d'aider les industriels à recenser l'ensemble des conséquences liées aux décisions globales,
- d'aider les industriels à chiffrer leurs décisions,
- d'optimiser la production.

## 5.2. Logiciel "Radar"

Ce logiciel permet, sur une période de quatre secondes de : (i) surveiller 1 280 zones du ciel et (ii) suivre ou découvrir jusqu'à 200 objets volants (missiles et avions).

# 6. Résultats nouveaux

## 6.1. Ordonnancement temps réel pour l'assemblage

L'algorithme proposé conduit à une solution optimale (minimisation du makespan) en utilisant les périodes de disponibilité des machines.

## 6.2. Affectation

Un algorithme optimal a été proposé dans un problème d'affectation à coûts concaves discontinus.

# 7. Contrats industriels

## 7.1. Renault

**Participants :** Cyril Duron, Jean-Marie Proth.

Proposer une structure permettant l'amélioration de la gestion des pièces détachées.

## 7.2. INTAS (projet no217)

**Participants :** Anjali Awasthi, Satyaveer Singh Chauhan, Cyril Duron, Jean-Marie Proth.

SAGEP est leader de ce projet qui regroupe :

- l'Université d'Osnabrueck (Allemagne),
- l'Université de Technologie de Troyes,
- l'Institute of Engineering Cybernetics (Minsk, Biélorussie),
- l'Institute of Mathematics (Minsk, Biélorussie),
- l'Institute of Informational Technologies and Applied Mathematics (Omsk, Russie),
- le Scientific Center for Machine Mechanics Problems (Minsk, Biélorussie),
- le Sobolev Institute of Mathematics (Novosibirsk, Russie).

L'objectif des travaux menés par ce groupe est le développement de modèles d'ordonnancement et d'affectations en temps réel et dans un environnement incertain en vue d'applications en communication, fabrication, conception aidées par ordinateur et logistique.

## 7.3. IMARA

**Participants :** Anjali Awasthi, Jean-Marie Proth.

SAGEP est sous contrat avec l'équipe IMARA de l'INRIA Rocquencourt pour l'étude d'un problème de guidage pour un système de transport automatisé sur réseau spécifique.

# 8. Actions régionales, nationales et internationales

## 8.1. Actions internationales

Voir le projet INTAS (section 7.2).

## 8.2. Accueil de chercheurs étrangers

Le Professeur Valery Gordon, de l'Institute of Engineering Cybernetics, National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Biélorussie), a séjourné dans notre équipe durant 3 mois (mai à juillet 2002).

## 9. Diffusion des résultats

### 9.1. Animation de la communauté scientifique

- JM Proth est membre du comité rédactionnel de la revue "International Journal of Production Economics".
- JM Proth est membre du comité rédactionnel de la revue "Journal of Intelligent Manufacturing".
- JM Proth est co-rédacteur du numéro spécial de la revue "Journal of Mathematical Modelling and Algorithms", intitulé "Discrete Optimization Methods in Scheduling and Computer Aided Design", vol. 1, n°2, 2002.
- SAGEP a organisé les secondes journées INTAS, 9-10 septembre 2002, Troyes.

### 9.2. Enseignement

- École des Mines de Nancy, "Chaînes d'approvisionnement : niveaux stratégique et tactique", 3 heures, avril 2002.
- École des Mines de Nancy, "Chaînes d'approvisionnement : gestion et évaluation", 3 heures, novembre 2002.
- Université de Metz, "Algorithmique Delphi", 45 heures.

## 10. Bibliographie

### Bibliographie de référence

- [1] J. CAVAILLE, J.-M. PROTH. *Pratique de la simulation en production discontinue*. Syprodis, 1987.
- [2] C. CHU, G. MAUROY, J.-M. PROTH, X. XIE, Y. WARDI. *Supply management for cost minimization in assembly systems with random component yield times*. in « Journal of Intelligent Manufacturing », numéro 5, volume 8, 1997, pages 385-403.
- [3] C. CHU, J.-M. PROTH. *L'ordonnancement et ses applications*. Masson, 1996.
- [4] F. DICESARE, G. HARHALAKIS, J.-M. PROTH, M. SILVA, F. VERNADAT. *Practise of Petri Nets in Manufacturing*. Chapman and Hall, 1993.
- [5] M. GOVIL, J.-M. PROTH. *Supply Chain Design. Strategic and Tactical Perspectives*. Academic Press, à paraître.
- [6] J. W. HERRMANN, G. IOANNOU, I. MINIS, J.-M. PROTH. *Minimization of acquisition and operational costs in horizontal material handling system design*. in « IIE Transactions », numéro 7, volume 31, 1999, pages 679-693.
- [7] I. MINIS, J.-M. PROTH. *Production management in a Petri net environment*. in « Recherche Opérationelle - Operations Research », numéro 3, volume 29, 1995, pages 321-352.

- [8] J.-M. PROTH, H. HILLION. *Mathematical Tools in Production Management*. Plenum, 1990.
- [9] J.-M. PROTH. *Petri Nets*. éditeurs P. BERNUS, K. MERTINS, G. SCHMIDT., in « International Handbook on Information Systems », série Handbooks on Architectures of Information Systems, Springer Verlag, 1997.

### **Livres et monographies**

- [10] S. CHAUHAN, C. DURON, J.-M. PROTH. *Les chaînes d'approvisionnement : conception, contrôle et outils*. Hermès, 2002, à paraître en février 2003.
- [11] M. GOVIL, J.-M. PROTH. *Supply Chain Design. Strategic and Tactical Perspectives*. Academic Press, 2002, ISBN 0-12-294151-9.

### **Thèses et habilitations à diriger des recherche**

- [12] C. DURON. *Ordonnancement en temps réel des activités des radars*. thèse de doctorat, Université de Metz, 2002.

### **Articles et chapitres de livre**

- [13] S. CHAUHAN, J.-M. PROTH. *Concave cost supply problem*. in « European Journal of Operational Research », 2002, à paraître.
- [14] F. CHAUVET, J. HERRMANN, J.-M. PROTH. *Optimization of cyclic production systems : a heuristic approach*. in « IEEE Transactions on Robotics and Automation », 2002, à paraître.
- [15] C. CHU, V. GORDON, J.-M. PROTH. *A state-of-the-art survey of due date assignment and scheduling research : SLK, TWK and other due date assignment models*. in « Production Planning and Control », numéro 2, volume 13, 2002, pages 117-132.
- [16] C. CHU, V. GORDON, J.-M. PROTH. *A survey of the state-of-the-art of common due date assignment and scheduling research*. in « European Journal of Operational Research », volume 139, 2002, pages 1-25.
- [17] C. DURON, J.-M. PROTH. *Multifunction radar : task scheduling*. in « Journal of Mathematical Modelling and Algorithms », volume 1, 2002, pages 105-116.

### **Communications à des congrès, colloques, etc.**

- [18] S. CHAUHAN, A. EREMEEV, A. KOLOKOLOV, V. SERVAKH. *On solving concave cost supply management problem with single manufacturing unit*. in « SCM Conference, Pologne, 23-25 octobre », pages 147-154, 2002.
- [19] S. CHAUHAN, J.-M. PROTH. *No-wait scheduling in supply chain environment*. in « International Conference on Operations Research, Université de Klagenfurt, Autriche, 2-5 septembre », pages 70, 2002.
- [20] V. DEMIDENKO, V. GORDON, J.-M. PROTH. *On a polynomially solvable case of traveling salesman problem : extension of Lawler's conditions*. in « International Conference on Operation Research, Université

de Klagenfurt, Autriche, 2-5 septembre », pages 72, 2002.

- [21] C. DURON, J.-M. PROTH. *Insertion of a random bitask in a schedule : a real-time approach*. in « XV-th Conference of the European Chapter of Combinational Optimization, Lugano, Suisse, 30 mai - 1er juin », 2002.
- [22] C. DURON, J.-M. PROTH, Y. WARDI. *Single resource scheduling : insertion of a random task under real time constraints*. in « IV-th Brazilian Workshop on Continuous Optimization, Rio de Janeiro, Brésil, 15-23 juillet », 2002.
- [23] G. FINKE, G. GORDON, J.-M. PROTH. *Scheduling with due dates and deadlines*. in « International Symposium on Industrial Electronics, L'Aquila, Italie, 8-11 juillet », 2002.

## Rapports de recherche et publications internes

- [24] A. AWASTHI, M. PARENT, J.-M. PROTH. *Estimating travel time in a single lane system*. Rapport de recherche, numéro 4655, Inria, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4655.html>.
- [25] S. CHAUHAN, R. NAGI, J.-M. PROTH. *Strategic capacity planning in supply chain design for a new market opportunity*. Rapport de recherche, numéro 4658, Inria, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4658.html>.
- [26] S. CHAUHAN, R. NAGI, J.-M. PROTH, A. SARMIENTO. *Strategic supply chain design for a new market opportunity from qualified partner set*. Rapport de recherche, numéro 4508, Inria, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4508.html>.
- [27] S. CHAUHAN, J.-M. PROTH. *No-wait scheduling in supply chain environment*. Rapport de recherche, numéro 4467, Inria, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4467.html>.
- [28] C. DURON, J.-M. PROTH. *Linked tasks scheduling : algorithms for the single machine case*. Rapport de recherche, numéro 4602, Inria, 2002, <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4602.html>.