

Rapport INRIA 1994 — Programme 5

Simulation, Analyse et Gestion des Systèmes de
Production

PROJET SAGEP

3 mai 1995

PROJET SAGEP

Simulation, Analyse et Gestion des Systèmes de Production

Localisation : *INRIA-Lorraine, Antenne de Metz*

Mots-clés : activité de conception (1), analyse des perturbations (1), CIM (1), commande optimale (1), évaluation de performance (1), évaluation de système discret (1), gestion hiérarchisée (1), maintenance prédictive (1), modélisation de système discret (1), optimisation (1), ordonnancement (1), réseau de Petri (1), système à événement discret (1), système multi-agents (1).

1 Composition de l'équipe

Responsable Scientifique

Jean-Marie Proth, Directeur de Recherche 1, INRIA

Secrétaire

Christel Carmier, Technicien de la Recherche T3

Chercheurs INRIA

Chengbin Chu, Chargé de Recherche 2

Xiaolan Xie, Chargé de Recherche 1

Ingénieur expert

Nathalie Sauer, depuis octobre 1994, boursière INRIA jusqu'à
fin septembre 1994

Chercheurs 3ème cycle

Julien Antonio, boursier ANVAR depuis janvier 1994
Feng Chu, boursière CIES
Pierre Fournet-Fayard, Stagiaire en Mastère à l'ENSTA de mars à septembre 1994, boursier DGA depuis octobre 1994
Vânio Murilo Savi, boursier du gouvernement brésilien jusqu'à fin juin 1994
Abdelghani Souilah, boursier CIES jusqu'à fin février 1994
Liming Wang, boursier CIES
Philippe Wolff, boursier INRIA

Collaborateurs extérieurs

Michael Fu, Assistant Professor, College of Business and Management, Université du Maryland (USA)
Ahmed Haouba, Professeur, Université de Nouakchott (Mauritanie)
Jeffrey W. Herrmann, Post Doc, Université du Maryland (USA)
George Ioannou, Etudiant en Ph.D., Université du Maryland (USA)
Marios Leventopoulos, Etudiant en Ph.D., Université du Maryland (USA)
Alexander Levis, Professeur, Université George Mason à Fairfax (USA)
Anshu Mehra, Etudiant en Ph.D., Université du Maryland (USA)
Ioannis Minis, Assistant Professor, Université du Maryland (USA)
Rakesh Nagi, Assistant Professor, Université de Buffalo (USA)
Yorai Wardi, Professeur associé, Georgia Institute of Technology (USA)

Autres personnels

Christophe Bouton, Stagiaire en Doctorat d'Ingénieur CNAM depuis novembre 1994
Haoxun Chen, Professeur invité, Université de Jiaotong (R.P. Chine) de mars à décembre 1994

Muriel Lebrun, Stagiaire en Doctorat d'Ingénieur CNAM
depuis mars 1994

Jean-Luc Tournier-Colletta, Stagiaire à temps partiel en
Doctorat d'Ingénieur CNAM jusqu'à fin décembre 1994

Chengen Wang, Professeur invité, Shenyang Institute of Au-
tomation (R.P. Chine) depuis octobre 1994

2 Présentation du projet

Le cadre général dans lequel évolue le projet SAGEP est la conception préliminaire et la gestion des systèmes dynamiques, en particulier les systèmes à événements discrets.

Le centre de gravité de notre travail s'est déplacé vers l'ordonnancement, la conception des systèmes décisionnels, et la gestion des stocks, au détriment des activités sur les architectures CIM, lesquelles se sont terminées en même temps que le projet ESPRIT CIMOSA, en mars 1994.

Pour ce qui concerne la conception préliminaire, nous avons poursuivi nos efforts de modélisation et d'évaluation des performances des systèmes, et en particulier des systèmes à événements discrets. L'environnement utilisé est essentiellement un environnement réseaux de Petri. S'y ajoutent désormais l'étude d'architectures de systèmes décisionnels. Les travaux antérieurs sur l'agencement des systèmes de production sont terminés et ont abouti à des logiciels qui peuvent maintenant être appliqués à des problèmes industriels. Certains aspects nouveaux relatifs à l'agencement se poursuivent sous notre responsabilité à l'Université du Maryland.

Nous poursuivons nos travaux en gestion des systèmes. Notre effort en ordonnancement se poursuit. Une activité plus ancienne, qui est la gestion des stocks, a repris de l'importance du fait de l'apparition de nouveaux problèmes suggérés par l'industrie. En collaboration étroite avec l' "Institute for Systems Research" (ISR) de l'Université du Maryland, nous avons fait un effort particulier en gestion de production hiérarchisée. Enfin, les travaux autour de la maintenance prédictive se poursuivent.

L'analyse des perturbations reste pour nous un outil important. Les besoins en calcul parallèle se font pressants.

3 Actions de recherche

3.1 Modélisation et évaluation du comportement des systèmes à événements discrets

Nos efforts dans l'étude des systèmes cycliques se sont amenuisés au profit de l'étude des systèmes non cycliques.

3.1.1 Les systèmes cycliques

Participants : Jean-Marie Proth, Nathalie Sauer, Xiaolan Xie

Les modèles des systèmes cycliques sont des graphes d'événements fortement connexes. L'objectif est ici d'atteindre un temps de cycle donné tout en minimisant une fonction linéaire du marquage dont les coefficients sont les composants d'un p-invariant. D'un point de vue pratique, il s'agit d'atteindre une performance donnée avec un ensemble de moyens de transport aussi réduit que possible.

Cet objectif n'est pas nouveau. Nous avons cependant obtenu quelques résultats intéressants.

Dans le cas déterministe, c'est à dire dans le cas où les temps de franchissement des transitions sont déterministes, nous avons développé une méthode qui utilise un algorithme de type séparation-évaluation. Cette méthode permet d'obtenir une solution optimale du problème d'optimisation du marquage, même pour des problèmes de grande taille. Avec cet algorithme, on peut également obtenir, plus rapidement, une solution approchée dont l'écart (en pourcentage) à la solution optimale est connu. Ceci est très intéressant pour les problèmes de grande taille, car les méthodes qui existaient jusqu'à présent, nous permettaient d'obtenir des solutions approchées, mais ne nous donnaient aucune indication sur leur "distance" à la solution optimale. Pour plus de détails, on pourra consulter [2].

L'étude du cas stochastique, c'est à dire du cas où les temps de franchissement des transitions sont stochastiques, a donné des résultats intéressants. Il est important de noter que nous nous attachons essentiellement aux cas où les lois des variables aléatoires qui génèrent les temps de franchissement sont quelconques (voir [2]).

Une autre approche consiste à mettre en concurrence plusieurs marquages initiaux. Pour cela, nous avons proposé un algorithme basé sur

la simulation. Cet algorithme simule en parallèle un ensemble de graphes d'événements dont les marquages initiaux sont les solutions candidates. Les mesures de performances sont expérimentées à l'aide de variables aléatoires dont les distributions sont actualisées tout au long de la simulation grâce à une approche Bayésienne. Ces statistiques permettent d'estimer la probabilité pour qu'une solution candidate soit optimale. Dès que cette probabilité devient trop faible, la solution candidate est abandonnée et nous arrêtons la simulation du graphe d'événements correspondant.

Les expériences numériques montrent que cet algorithme permet d'obtenir une très bonne solution avec un gain important en temps de calcul. Pour plus d'informations, on consultera [26].

Notons qu'il s'agit là d'une application qui tirerait avantage du calcul parallèle.

3.1.2 Les systèmes non cycliques

Participants : Feng Chu, Jean-Marie Proth, Vânio Murilo Savi, Liming Wang, Xiaolan Xie

Ces systèmes, encore appelés systèmes "on-line", sont influencés par des aléas exogènes. Le pilotage de ces systèmes ne peut donc plus être modélisé en même temps que le système physique à l'aide de graphes d'événements. Nous sommes à un carrefour entre la conception préliminaire et la gestion des systèmes : il n'est pas possible d'évaluer le comportement du système physique sans définir précisément le système de gestion qui va lui être appliqué.

L'ensemble de l'étude est basé sur un nouveau type de réseaux de Petri, appelés réseaux de Petri à sorties contrôlables (ou plus simplement réseaux de Petri contrôlables). Ces réseaux ont été introduits par le projet SAGEP.

Nous proposons une méthode qui consiste à :

- Décomposer le système considéré en modules de taille raisonnable. Cette démarche a pour objectif de se limiter à des modèles de taille réduite lorsqu'on utilise des réseaux de Petri simples, lesquels ont le double avantage d'être bien acceptés dans l'industrie et de posséder des propriétés analytiques utilisables pour l'évaluation des performances.

- Modéliser chacun des modules et vérifier qu'ils possèdent les propriétés qualitatives souhaitées lorsqu'il s'agit de systèmes manufacturiers. Ces propriétés qualitatives sont essentiellement la vivacité, la bornitude, la réversibilité et la consistance.
- Simplifier chacun de ces modules de façon à préserver les propriétés qualitatives et les relations entre entrées et sorties.
- Intégrer les modules simplifiés. La méthode d'intégration utilisée permet de préserver les propriétés qualitatives que nous venons d'énoncer.

Nous obtenons donc un modèle global simplifié de taille réduite qui présente les propriétés qualitatives souhaitées.

Ce modèle permet alors d'évaluer les performances en procédant de la manière suivante.

On optimise d'abord le comportement en travaillant sur le modèle global simplifié. Ce calcul s'effectue sur un certain nombre de périodes qui constituent l'horizon de la gestion. La solution optimale fournit, entre autres, les sorties de chaque module durant chaque période. On considère alors la première période. Pour chaque module, on connaît le nombre de franchissements des transitions de sortie. Il est donc possible d'optimiser le comportement de chaque module et ces calculs peuvent se dérouler en parallèle.

Ces différentes étapes s'appuient sur les propriétés des modèles et utilisent largement les t-invariants réduits.

L'ensemble évolue en horizon glissant. Un prototype a été développé sur ces bases.

Les publications [20] et [22], en particulier, traitent de ce problème.

3.1.3 Vérification incrémentale des propriétés qualitatives des réseaux de Petri

Participants : Chengbin Chu, Feng Chu, Jean-Marie Proth, Xiaolan Xie

La conception d'un modèle de système manufacturier basé sur les réseaux de Petri est, bien entendu, progressive. On souhaite savoir si le modèle obtenu possède les "bonnes" propriétés qualitatives introduites plus haut. Une solution est évidemment de vérifier l'existence de ces propriétés sur le modèle complet. Malheureusement, celui-ci est de taille

trop importante pour que l'on puisse y parvenir de manière simple. Nous cherchons donc à savoir si, lorsqu'un modèle partiel possède une propriété qualitative donnée, il la conservera après lui avoir ajouté une (des) transition(s) et/ou une (des) place(s).

Des conditions nécessaires et/ou suffisantes ont été mises en évidence. Elles permettent souvent de vérifier si les propriétés qualitatives ont été conservées en n'examinant qu'un sous-réseau du réseau considéré.

Les résultats obtenus jusqu'à présent se trouvent dans [29] et [32] pour ce qui concerne la consistance et la bornitude structurelle. Les résultats obtenus sur les conditions d'absence de blocage sont en cours de rédaction.

3.2 Agencement des systèmes de production

Participants: Jeffrey W. Herrmann, George Ioannou, Ioannis Minis, Jean-Marie Proth, Abdelghani Souilah

Cette activité se poursuit en étroite collaboration avec l'ISR de l'Université du Maryland. Nous avons proposé, cette année, une approche heuristique efficace lorsque la conception du système de transport est un facteur dominant. Il s'agit alors d'optimiser le système de transport en tenant compte des contraintes imposées par les ressources de transport.

On pourra consulter [18], [34] et [35] à ce sujet.

3.3 Gestion de production hiérarchisée

Participants: Feng Chu, Jeffrey W. Herrmann, Anshu Mehra, Ioannis Minis, Rakesh Nagi, Jean-Marie Proth, Liming Wang

La gestion de production hiérarchisée se développe dans deux directions. La première est basée sur les réseaux de Petri et a été présentée dans le paragraphe 3.1.2. La seconde direction, que nous présentons maintenant, implique fortement l'ISR de l'Université du Maryland. L'idée est d'agréger les machines en cellules de fabrication, les types de produits en familles de produits, et les périodes élémentaires en périodes plus importantes appelées macro-périodes, puis d'optimiser le modèle agrégé sur un certain nombre de macro-périodes consécutives, encore appelé horizon du problème. La solution obtenue à partir du modèle agrégé fournit la quantité de chaque famille de produits à fabriquer sur chaque

cellule durant chaque macro-période. On désagrège ensuite les familles de produits pour définir les quantités de chaque produit à fabriquer sur chaque macro-période en tenant compte de la solution fournie par le modèle agrégé et des demandes sur l'horizon. La dernière étape consiste à désagréger le temps et les ressources sur la première macro-période, c'est à dire à calculer la quantité de produits de chaque type à fabriquer sur chaque machine durant chacune des périodes élémentaires de la première macro-période.

Bien entendu, les résultats sont fonction des attributs (capacités, en particulier) affectés à chaque entité agrégée, lesquels dépendent en fait de la production. D'où une approche itérative qui consiste à ajuster les attributs du modèle agrégé en fonction de la solution obtenue. Cet ajustement fait intervenir la théorie des perturbations.

On observera que la dernière étape de la désagrégation nécessite des calculs qui auraient intérêt à se dérouler en parallèle. Nous avons simulé ce mode de calcul à l'Université du Maryland. Les résultats sont très encourageants.

Le logiciel mis au point ainsi que l'ensemble des résultats théoriques, y compris la mesure de complexité des calculs et la taille mémoire nécessaire dans l'hypothèse de calculs séquentiels et de calculs parallèles, seront rassemblés dans le Ph.D. que présentera Anshu Mehra à l'Université du Maryland en mars 1995.

On pourra également consulter [17], [19] et [36] sur le même sujet.

3.4 Ordonnancement

3.4.1 Ordonnancement avec contraintes de précedence et temps de séparation minimaux et maximaux

Participants : Chengbin Chu, Jean-Marie Proth

Ce problème est issu du problème industriel que nous avons résolu dans le cadre du projet ORAM décrit dans le rapport d'activité 1993. Il consiste à ordonnancer un ensemble de tâches sur une machine. Il y a non seulement des contraintes de précedence de type chaîne entre les tâches, mais aussi des temps de séparation minimaux et maximaux : deux tâches successives dans une chaîne doivent être séparées par un temps borné inférieurement et supérieurement. Ce problème a été résolu de manière heuristique pour satisfaire le besoin industriel en terme

de temps de calcul. Cette année, nous avons étudié ses propriétés analytiques. Notamment, nous avons montré que pour une séquence (partielle ou complète) donnée, le problème se ramène à un problème de recherche du plus long chemin dans un graphe. Ceci nous permet de savoir si cette séquence peut être réalisable si elle est complète, ou si elle peut conduire à une séquence complète réalisable, si elle est partielle. Nous avons en outre établi une borne inférieure. Ces résultats nous ont permis de construire un algorithme optimal pour résoudre des problèmes de petite taille, et donc d'évaluer la performance des heuristiques développées. Nous observons que l'écart entre les solutions approchées et optimales est en moyenne de 2 %. Pour plus d'informations, voir [16] ou [30].

3.4.2 Ordonnancement d'un pont roulant en galvanoplastie

Participants : Haoxun Chen, Chengbin Chu, Jean-Marie Proth

Ce problème se pose dans de nombreux secteurs industriels comme, par exemple, dans le traitement de surfaces. Le problème est le suivant : un processus de galvanoplastie est constitué de plusieurs trempes effectuées dans des bacs différents. Le transport entre deux bacs successifs est assuré par un pont roulant. Pour garantir la qualité du produit, la durée de trempe dans chaque bac est bornée supérieurement et inférieurement. Le problème consiste à ordonnancer le pont roulant afin de maximiser la productivité. Compte tenu de la nature du problème qui concerne une production répétitive, il est intéressant de calculer une solution optimale. Pour cela, nous utilisons une approche par séparation et évaluation. Nous avons analysé les propriétés du problème. Nous avons montré qu'étant donnée une séquence de mouvements du pont roulant, le problème se ramène à un problème de minimisation du temps de cycle dans un graphe bi-valué. Nous avons proposé un algorithme efficace pour résoudre ce sous-problème. Nous avons développé une méthode originale de séparation pour trouver la meilleure séquence. Les expériences menées sur les données "standard" trouvées dans la littérature montrent que notre algorithme conduit à une solution optimale en un temps quatre fois inférieur au temps nécessaire lorsque l'on utilise le meilleur des algorithmes existants. On consultera le rapport [28] pour plus d'informations.

3.4.3 Minimisation de la somme des retards et des avances

Participants : Haoxun Chen, Chengbin Chu

Nous avons étudié la minimisation de la somme des retards et des avances. Les retards représentent les ruptures alors que les avances représentent les stockages. Ce problème est particulièrement intéressant dans les environnements de production de type "juste-à-temps". Contrairement à la plupart des travaux de la littérature, nous ne faisons aucune hypothèse particulière. Nous avons proposé une méthode par séparation et évaluation. L'originalité de ce travail est dans la manière de représenter un sous-ensemble de solutions. Nous avons établi différentes propriétés de dominance et une borne inférieure qui fait intervenir la programmation dynamique. L'algorithme que nous avons développé permet de résoudre des problèmes comprenant jusqu'à 20 tâches en un temps de calcul très faible. Les résultats sont en cours de rédaction.

3.4.4 Ordonnancement d'un atelier flexible

Participants : Chengbin Chu, Jean-Luc Tournier-Colletta

Dans le cadre de la collaboration franco-chinoise, nous avons été amenés à résoudre le problème d'ordonnancement d'un atelier flexible. Ce problème est très complexe. Plusieurs sous-problèmes interconnectés sont à résoudre : ordonnancement des centres opératoires, ordonnancement du robot de service d'outillage et ordonnancement du chariot filo-guidé qui alimente les centres opératoires. Nous proposons une méthode itérative composée de trois modules, chacun étant chargé de résoudre un sous-problème. La coordination de ces modules se fait par une procédure itérative.

Les résultats de ces travaux seront rassemblés dans la thèse CNAM de Jean-Luc Tournier-Colletta.

3.4.5 Ordonnancement d'une cellule flexible robotisée

Participant : Haoxun Chen, Chengbin Chu

Dans une cellule flexible robotisée, un robot est chargé de transporter les pièces d'une machine à une autre. Il faut donc non seulement déterminer la séquence de passage des pièces sur les machines, mais aussi la séquence des mouvements du robot. Pour une cellule composée de deux machines,

il a été montré que le problème est polynomial. Nous étudions une cellule composée de trois machines. Dans ce problème, il y a 6 séquences possibles de mouvements du robot. Pour 4 d'entre elles, le problème de la détermination de la meilleure séquence de passage des pièces sur les machines est polynomial. Nous étudions les 2 autres séquences. Nous utilisons les résultats du problème à deux machines pour obtenir une borne inférieure. Cette borne pourra être utilisée ultérieurement dans une procédure par séparation et évaluation. Les résultats obtenus sont en cours de rédaction.

3.4.6 Minimisation de la somme des temps d'attente

Participant : Chengbin Chu

Nous considérons le problème d'ordonnancement des tâches sur une machine sachant que le passage d'une tâche à la suivante nécessite un temps de préparation (set-up time) qui dépend du couple de tâches concerné. Nous avons démontré des propriétés de dominance. Nous avons également établi une borne inférieure basée sur la technique de programmation dynamique. Nous sommes en train d'améliorer cette borne inférieure. Aucune publication n'a encore été rédigée sur ce sujet.

3.4.7 Ordonnancement des tâches de bureau

Participants : Julien Antonio, Jeffrey W. Herrmann, Jean-Marie Proth

L'ordonnancement des tâches de bureau est essentiellement caractérisé par les deux aspects suivants :

- une tâche donnée peut être exécutée sur n'importe quel processeur (resp. par n'importe quel employé), mais en des temps éventuellement différents, qui dépendent de la spécificité du processeur (resp. de la formation de l'employé),
- il peut exister une relation d'ordre partiel, mais cette relation d'ordre concerne généralement peu de tâches.

L'objectif est de minimiser le maximum des temps d'activité des processeurs. Nous avons développé une heuristique rapide pour la résolution de ce problème. Nous sommes à la recherche d'une borne inférieure efficace qui nous permettra de développer une approche de type séparation-évaluation.

3.5 Gestion des stocks

Cette activité est une des premières activités du projet SAGEP. Elle est en sommeil depuis quelques années et reprend à la suite de fortes demandes industrielles que nous présentons plus loin.

3.5.1 Gestion de stocks avec contraintes sur les décisions

Participants : Julien Antonio, Chengbin Chu, Jean-Marie Proth, Nathalie Sauer, Philippe Wolff

Le premier type de gestion de stocks nous a été suggéré par un sous-traitant de la sidérurgie dont le rôle est de recevoir des produits longs et de les débiter à la demande. Les contraintes sont particulières puisqu'il s'agit de satisfaire la demande tout en minimisant les déplacements des produits, lesquels sont extrêmement lourds. Par contre, on dispose de statistiques fiables sur les demandes, ce qui nous permet de prendre les décisions de découpe en tenant compte des besoins à court terme.

Au plan théorique, nous étudions le problème de découpe en une seule dimension avec contraintes particulières. Pour ce problème, nous avons développé des heuristiques pour répondre aux besoins industriels en termes de qualité des solutions fournies, mais aussi en termes de temps de calcul. Nous avons utilisé une approche de type programmation dynamique pour obtenir une solution optimale. C'est un algorithme pseudo-polynomial. De plus, cette méthode permet de prendre en considération des aspects spécifiques de l'entreprise concernée, comme par exemple le trait de scie et l'affranchissement. Un autre résultat obtenu est une borne inférieure qui se calcule de manière polynomiale.

3.5.2 Gestion de stocks avec demandes aléatoires

Participants : Muriel Lebrun, Jean-Marie Proth, Nathalie Sauer, Xiaolan Xie

Il s'agit ici d'assurer un taux de service important avec un taux de couverture aussi faible que possible, sachant que :

- les demandes sont aléatoires,
- les demandes sont fortement bruitées,
- les demandes concernent plus de 72 000 types de produits,

- les physionomies des demandes sont très variables d'un produit à l'autre,
- certaines demandes sont imprévisibles.

Au plan de la recherche, nous mettons en place une méthodologie qui permet :

- de sélectionner les produits dont la demande est prévisible,
- d'ajuster les méthodes de prévision au profil de l'historique,
- d'émettre une alerte en la motivant lorsque la demande ne peut être raisonnablement prévue.

3.6 Maintenance prédictive

Participants : Chengbin Chu, Jean-Marie Proth, Philippe Wolff

Notre travail de recherche concerne l'étude du comportement des systèmes non fiables et son application à la maintenance prédictive. Notre approche diffère de celle habituellement adoptée : notre étude est en effet basée sur la connaissance de la densité de probabilité des transitions entre états du système, alors que la plupart des travaux réalisés jusqu'à présent portaient de la distribution des instants de panne. Ceci nous permet de définir un seuil pour la variable d'état au-delà duquel nous arrêtons le système pour réaliser une maintenance. Nous nous sommes intéressés à deux types de systèmes.

3.6.1 Systèmes à une unité

Nous avons tout d'abord étudié les systèmes composés d'une seule machine. Ces systèmes sont caractérisés par une variable d'état dont l'évolution d'un instant d'observation au suivant obéit à une loi exponentielle négative. Une panne apparaît quand la valeur de la variable d'état qui représente l'état du système dépasse une limite donnée, appelée limite de panne. Une réparation est alors nécessaire. On décide d'effectuer une maintenance prédictive si la variable d'état du système dépasse un seuil, appelé limite de maintenance, tout en restant inférieure à la limite de panne. Nous avons démontré que le coût de cette politique admet un minimum unique, nous avons donné un encadrement pour la valeur de la limite de qui permet d'atteindre rapidement cet optimum. Nous avons proposé un algorithme optimal pour le calcul de cette limite.

3.6.2 Systèmes à deux unités

Nous nous sommes ensuite intéressés à des systèmes composés de deux unités stochastiquement indépendantes. La politique de maintenance envisagée est une généralisation du cas à une unité : un élément dont la variable d'état dépasse sa limite de panne doit être réparé ; si cette variable d'état est inférieure à la limite de panne, mais supérieure à celle de maintenance, une maintenance est effectuée. Dans le cas de systèmes pour lesquels le coût d'intervention est très important par rapport au coût de l'activité de maintenance, on décide d'effectuer une maintenance sur une unité chaque fois que l'autre unité est arrêtée. Nous avons donné l'expression analytique du coût de cette politique de maintenance. Les valeurs des deux limites de maintenance qui minimisent ce coût ont été calculées par la méthode du gradient. L'intérêt de cette politique de maintenance a été illustré par un exemple numérique.

3.7 Conception de systèmes décisionnels

Participants : Pierre Fournet-Fayard, Jean-Marie Proth

L'objectif de cet axe de recherche, développé pour la DGA, est d'aboutir à un système qui fournisse une décision unique à partir d'observations réparties. Ce travail comporte la définition d'une architecture et la mise en place d'un mécanisme de négociation qui, partant d'observations de natures diverses sur un même phénomène, conduit à une décision unique et, autant que possible, optimale dans le sens où le coût de l'erreur est minimal en moyenne.

Les premiers résultats ont été publiés dans [33] et concernent l'architecture du système.

4 Actions industrielles

4.1 Projet POEM (Problème d'Optimisation d'Emballage Multidimensionnel)

Participants : Julien Antonio, Chengbin Chu, Jean-Marie Proth, Nathalie Sauer, Philippe Wolff

C'est un projet financé par l'ANVAR avec la participation de la SCORIL et du groupe D'HUART. Dans ce projet, nous avons à résoudre

des problèmes de découpe et d'emballage. Cette année, nous étudions le problème de découpe en une seule dimension. Il consiste à couper des barres de longueurs "standard" (ou des barres issues des découpes précédentes, appelés tombants) afin d'obtenir des longueurs demandées par les clients. L'objectif de l'étude est de minimiser la chute, c'est à dire la longueur restante non réutilisable. Ce type de problèmes n'est pas nouveau. Cependant, les contraintes particulières imposées par l'industrie concernée font que ces problèmes ne sont pas résolus pour l'instant. Nous avons développé des algorithmes approchés qui tiennent compte des contraintes spécifiques des entreprises et qui fournissent des résultats très satisfaisants. Ces algorithmes seront très bientôt opérationnels chez D'HUART. Ils sont en phase de test pour la société EXMA. L'originalité de ce projet tient dans les contraintes spécifiques décrites dans le paragraphe 3.5.1.

4.2 Projet ESPRIT HIMAC 8141 (Hierarchical Management and Control in manufacturing systems)

Participants : Chengbin Chu, Jean-Marie Proth, Nathalie Sauer

Ce projet européen a commencé au mois d'avril 1994. Dans ce projet, nous utilisons une nouvelle algèbre développée par les partenaires italiens pour modéliser les processus de fabrication des produits. La dynamique d'un système de production est décrite par un ensemble d'équations d'état. L'objectif de ce projet est de développer une méthode de contrôle hiérarchique pour gérer des systèmes de production complexes. Ce projet implique l'Université de Karlsruhe (Allemagne), l'Université de Crète (Grèce) et la société EICAS de Turin (Italie).

4.3 Projet ModExpPer (Modélisation de la demande et de l'Expression du besoin en vue de Performances élevées en gestion des stocks)

Participants : Muriel Lebrun, Jean-Marie Proth, Nathalie Sauer, Xiaolan Xie

Il s'agit d'un contrat avec la Direction des Pièces de Rechange de RE-NAULT. L'objectif est d'améliorer le système de prévisions des ventes et l'expression des besoins. Les difficultés de prévisions sont nombreuses.

Tout d'abord, il y a plus de 72 000 références à traiter. Ensuite, pour chaque référence, il y a au plus 4 ans d'historique dans lequel il peut y avoir des perturbations telles que les ventes exceptionnelles, les promotions, la coexistence de commandes ponctuelles, etc. Afin de tenir compte de tous ces aspects, nous avons développé un système de prévision plus performant que le système existant, une nouvelle politique de gestion de stock et, surtout, des alarmes pertinentes pour alerter les gestionnaires d'éventuels changements importants dans le comportement des clients.

Il faut noter que deux autres projets industriels n'ont pu démarrer à cause du manque de réactivité de l'administration locale : les sommes demandées, par ailleurs prévues au budget, n'ont pas été débloquées. Plus précisément, aucune réponse n'a été donnée à notre demande.

5 Actions nationales et internationales

5.1 Actions nationales

Coopération avec le groupe D'HUART (Julien Antonio, Chengbin Chu, Jean-Marie Proth, Nathalie Sauer, Philippe Wolff).

Coopération avec RENAULT (Muriel Lebrun, Jean-Marie Proth, Nathalie Sauer, Xiaolan Xie).

Contacts avec le groupe PEUGEOT-CITROEN : préparation d'une coopération (Chengbin Chu, Jean-Marie Proth, Nathalie Sauer).

Contacts permanents avec le groupe PECHINEY. Objectifs : pré-analyse de problèmes et préparation de conférences internes (Jean-Marie Proth).

Participation au groupement de recherche automatique, Pôle systèmes à événements discrets (Jean-Marie Proth, Xiaolan Xie).

Animation du Club TRI (Transfert Recherche-Industrie) (Jean-Marie Proth).

Comité d'organisation du European Workshop on Integrated Manufacturing Systems Engineering, Grenoble, 12-14 décembre 1994 (Jean-Marie Proth).

Contacts avec les projets ALGO et META2 de l'INRIA (Chengbin Chu).

Contacts avec l'Ecole des Mines de Nancy (Chengbin Chu).

5.2 Actions internationales

Rapporteur d'une proposition adressée à la NSF (National Science Foundation), USA (Chengbin Chu).

Participations à des revues scientifiques :

- Rédacteur associé pour "IEEE Transactions on Robotics and Automation" (Jean-Marie Proth).
- Rédacteur associé pour "Applied Stochastic Models and Data Analysis" (Jean-Marie Proth).
- Comité consultatif international de "Journal of Intelligent Manufacturing" (Jean-Marie Proth).
- Comité de rédaction de "International Journal of Production Economics" (Jean-Marie Proth).

Participations à des congrès :

- Comité de programme de "27th ISATA Dedicated Conference on Lean/Agile Manufacturing for the Automotive Industry", 31 octobre - 4 novembre à Aachen, Allemagne (Chengbin Chu).
- Direction d'une session au cours de la "Rensselaer's Fourth International Conference on CIM and Automation Technology", 10-12 octobre, Troy, New York, USA (Chengbin Chu).
- Comité de programme, séminaire et direction de session pour le "8th International Working Seminar on Production Economics", 20-25 février à Igls/Innsbruck, Autriche (Jean-Marie Proth).
- Direction et organisation de sessions pour l' "IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics", 2-5 octobre, San Antonio, Texas, USA (Jean-Marie Proth).
- Comité de programme pour "Rensselaer's Fourth International Conference on CIM and Automation Technology", 10-12 octobre, Troy, New York, USA (Jean-Marie Proth).

Collaborations scientifiques et techniques :

- Université de Saarbrücken : le 24 juin, exposé intitulé "Perturbation analysis for some manufacturing problems" (Jean-Marie Proth).

- Université du Maryland, ISR : Séjour du 10 juillet au 8 août dans le cadre de la poursuite de la collaboration autour des problèmes d'agencement et de gestion hiérarchisée (Jean-Marie Proth).
- Conférence donnée à Metz : Cette conférence qui a eu lieu le 31 octobre, intitulée "L'évolution des systèmes manufacturiers dans le nouveau contexte économique", avait pour auditeurs des scientifiques et des hommes d'affaires russes (Jean-Marie Proth).
- Laboratoire I-MADIS, Université de Tsinghua à Pékin (République Populaire de Chine) : Cette visite du 7 au 21 novembre s'est effectuée dans le cadre d'un programme de collaboration bilatérale. Nous développons un système d'aide à la conception de produits personnalisés. Dans un premier temps, nous étudions les relations entre les demandes des clients et les caractéristiques techniques (Jean-Marie Proth et Xiaolan Xie).
- Shenyang Institute of Automation (République Populaire de Chine) : Collaboration autour de problèmes d'ordonnancement. Le projet SAGEP s'est chargé de l'ordonnancement d'un atelier flexible implanté à Shenyang (Chengbin Chu et Jean-Luc Tournier-Colletta).
- Université de Jiaotong (République Populaire de Chine) : Collaboration autour de problèmes d'ordonnancement (Chengbin Chu).
- Georgia Institute of Technology (Atlanta, USA) : Collaboration autour de l'utilisation de l'analyse perturbationnelle pour l'optimisation du comportement des systèmes manufacturiers (Jean-Marie Proth et Xiaolan Xie).
- Université de Nouakchott (Mauritanie) : Collaboration avec le Professeur Haouba (ancien membre du projet SAGEP) sur les problèmes de contrôle des flux dans les systèmes de production (Xiaolan Xie).
- Université Technique de Crête (Grèce), Université de Karlsruhe (Allemagne) et société EICAS (Italie) : Collaboration dans le cadre du projet ESPRIT HIMAC (Chengbin Chu, Jean-Marie Proth et Nathalie Sauer).

Chercheurs invités :

- Professeur Ioannis Minis, Université du Maryland (USA), du 10 au 14 janvier (séminaire).

- Professeur Günter Schmidt, Université de la Sarre (Allemagne), 20 janvier (séminaire).
- Docteur Raymond Bisdorf, Centre de Recherche Public (Luxembourg), 20 janvier (séminaire).
- Professeur Haoxun Chen, Université de Jiaotong (République Populaire de Chine), du 1er mars au 31 décembre.
- Professeurs Deguang Cui et Shouju Ren, Université de Tsinghua, Beijing (République Populaire de Chine), du 9 au 20 mai.
- Professeur Suresh Sethi, Université de Toronto (Canada), 6 et 7 juin.
- Professeur Ahmedou Haouba, Université de Nouakchott (Mauritanie), du 12 au 20 septembre.
- Professeur Chengen Wang, Shenyang Institute of Automation (République Populaire de Chine), depuis le 25 octobre.

6 Diffusion des résultats

6.1 Actions d'enseignement

Jean-Marie Proth

- IAE de Metz : Gestion de la production
- Université de Metz : Analyse des données (DESS)
- ENSTA (Paris) : Ordonnancement

Xiaolan Xie

- Université de Metz : Recherche Opérationnelle (DESS)

6.2 Participation à des conférences et colloques

Des membres de l'équipe ont participé à des conférences ; on se reportera à la bibliographie pour en avoir la liste.

6.3 Organisation de colloques, conférences et cours

Préparation de la Conférence ETFA'95 (Emerging Technologies and Factory Automation) organisée par l'INRIA et l'IEEE IES (Indus-

trial Electronics Society) (Christel Carmier, Chengbin Chu, Jean-Marie Proth et Xiaolan Xie).

Préparation des journées de formation du groupe PECHINEY sur le thème : Evaluation des systèmes de production (Jean-Marie Proth).

6.4 Diffusion de produits

Implantation du système de découpe au sein du groupe D'HUART.

Transfert chez ALUMINIUM PECHINEY du logiciel d'ordonnancement pour l'homogénéisation et la découpe de billettes d'aluminium.

Transfert chez RENAULT (Direction des Pièces de Rechange) du logiciel de prévision des demandes et d'élaboration des commandes.

7 Bibliographie

Livres et monographies

- [1] J.-M. PROTH, X. XIE, *Les réseaux de Petri pour la conception et la gestion des systèmes de production*, Masson, 1994.

Thèses

- [2] N. SAUER, *Les graphes d'événements stochastiques et leur utilisation pour l'évaluation des systèmes de production*, thèse de doctorat, Université de Metz, septembre 1994.
- [3] V. SAVI, *Conception préliminaire des systèmes de production à l'aide des réseaux de Petri ; évaluation des performances*, thèse de doctorat, Université de Metz, mai 1994.
- [4] A. SOUILAH, *Les systèmes cellulaires de production : l'agencement inter-cellules*, thèse de doctorat, Université de Metz, janvier 1994.

Articles et chapitres de livre

- [5] C. CHU, J. PROTH, X. XIE, «Supply management in assembly systems», *Naval Research Logistics* 40(6), 1994.
- [6] C. CHU, J.-M. PROTH, S. SETHI, «Heuristic procedures for minimizing makespan and the number of required pallets», *European Journal of Operational Research (à paraître)*, 1994.

- [7] C. CHU, «A new class of scheduling criteria and their optimization», *RAIRO Recherche Opérationnelle (à paraître)*, 1994.
- [8] H. HILLION, J. PROTH, «Finite capacity flow control in a multi-stage/multi-product environment», *International Journal of Production Research* 32(5), 1994.
- [9] I. MINIS, J.-M. PROTH, *Petri Nets in Flexible and Agile Automation*, M.C. Zhou (Kluwer Academic Publisher), 1994, ch. Planning and Scheduling based on Petri Nets.
- [10] R. NAGI, J.-M. PROTH, *Modern Manufacturing, Information Control and Technology*, M.B. Zaremba & B. Prasad (Springer-Verlag), 1994, ch. Hierarchical Production Management.
- [11] J. PROTH, X. XIE, «Cycle time of stochastic event graphs: evaluation and marking optimization», *IEEE Transactions on Automatic Control* 39(7), 1994.
- [12] J.-M. PROTH, N. SAUER, «Chip manufacturing matching production plan with customer requirements», *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology* 17(3), septembre 1994.
- [13] X. XIE, «Superposition properties and performance bounds of stochastic timed event graphs», *IEEE Transactions on Automatic Control* 39(7), 1994.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [14] H. CHEN, B. HU, J.-M. PROTH, «A scheduling framework based on Petri net modeling and sequential Lagrangian relaxation approach», in : *Rensselaer's 4-th International Conference on Computer Integrated Manufacturing and Automation Technology*, p. 272-278, Troy, NY, USA, 1994.
- [15] C. CHU, J.-M. PROTH, Y. WARDI, X. XIE, «Supply management in assembly systems : The case of random lead times», in : *11-th International Conference on Analysis and Optimization of Systems*, Sophia Antipolis, 1994.
- [16] C. CHU, J.-M. PROTH, «Sequencing with chain structured precedence constraints and minimal and maximal separation times», in : *Rensselaer's 4-th International Conference on Computer Integrated Manufacturing and Automation Technology*, p. 333-338, Troy, NY, USA, 1994.
- [17] J. HERRMANN, A. MEHRA, I. MINIS, J.-M. PROTH, «Hierarchical production planning with part, spatial and time aggregation», in : *Rensselaer's 4-th International Conference on Computer Integrated Manufacturing and Automation Technology*, p. 430-435, Troy, NY, USA, 1994.

- [18] G. IOANNOU, I. MINIS, R. NAGI, J.-M. PROTH, «Design of material handling flow paths», *in: 1994 NSF Design and Manufacturing Grantees Conference*, Cambridge, MA, USA, 1994.
- [19] A. MEHRA, I. MINIS, J.-M. PROTH, «Hierarchical production planning for complex manufacturing systems», *in: 14-th ASME International Computers and Exposition Conference*, Minnesota, USA, 1994.
- [20] J.-M. PROTH, L. WANG, X. XIE, «On controlling a class of assembly systems with alternative production routing», *in: 11-th International Conference on Analysis and Optimization of Systems*, Sophia Antipolis, 1994.
- [21] J.-M. PROTH, «Assembly system: optimization of the re-ordering instant in the case of random yields», *in: 8-th International Working Seminar on Production Economics*, Igls/Innsbrück, Autriche, 1994.
- [22] J.-M. PROTH, «A comprehensive approach for planning and scheduling on-line systems», *in: 1994 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, p. 1340–1344, San Antonio, TX, USA, 1994.
- [23] J.-M. PROTH, «Management of manufacturing systems based on Petri nets», *in: 11-th International Conference on Analysis and Optimization of Systems*, Sophia Antipolis, 1994.
- [24] J.-M. PROTH, «Petri nets for production management», *in: IECON'94, 20-th International Conference on Industrial Electronics Control and Instrumentation*, p. 1533–1537, Bologna, Italie, 1994.
- [25] N. SAUER, «Optimization of cyclic manufacturing systems with stochastic manufacturing times», *in: 8-th International Working Seminar on Production Economics*, Igls/Innsbrück, Autriche, 1994.
- [26] X. XIE, «An ordinal optimization approach to a token partition problem for stochastic timed event graphs», *in: 1994 Winter Simulation Conference*, Orlando, FL, USA, 1994.
- [27] X. XIE, «Some results on the integration of manufacturing systems using Petri nets», *in: 1994 IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics*, San Antonio, TX, USA, 1994.

Rapports de recherche et publications internes

- [28] H. CHEN, C. CHU, J.-M. PROTH, «Cyclic scheduling of a hoist with time window constraints», *rapport de recherche n°2307*, INRIA-Lorraine, juillet 1994.
- [29] C. CHU, F. CHU, J.-M. PROTH, X. XIE, «Conception des systèmes à événements discrets à l'aide des réseaux de Petri : la propriété de consistance», *rapport de recherche n°2186*, INRIA-Lorraine, février 1994.

- [30] C. CHU, J.-M. PROTH, «Single machine scheduling with chain structured precedence constraints and minimal and maximal separation times», *rapport de recherche n° 2268*, INRIA-Lorraine, mai 1994.
- [31] C. CHU, P. WOLFF, J.-M. PROTH, «Prediction of the behaviour of an unreliable system. Application to the choice of the optimal maintenance policy», *rapport de recherche n° 2207*, INRIA-Lorraine, mars 1994.
- [32] F. CHU, J.-M. PROTH, «Conception des systèmes à événements discrets à l'aide des réseaux de Petri : la propriété de bornitude structurelle», *rapport de recherche n° 2245*, INRIA-Lorraine, avril 1994.
- [33] P. FOURNET-FAYARD, J.-M. PROTH, «Modélisation et évaluation d'architectures multi-agents pour la perception : ingénierie et certification de ces architectures», *rapport de recherche n° 2400*, INRIA-Lorraine, octobre 1994.
- [34] J. HERRMANN, G. IOANNOU, I. MINIS, R. NAGI, J.-M. PROTH, «Design of material flow networks in manufacturing facilities», *rapport de recherche n° 50*, ISR, University of Maryland (USA), 1994.
- [35] J. HERRMANN, G. IOANNOU, I. MINIS, J.-M. PROTH, «A dual ascent approach to the fixed-charge capacitated network design problem», *rapport de recherche n° 29*, ISR, University of Maryland (USA), 1994.
- [36] J. HERRMANN, A. MEHRA, I. MINIS, J.-M. PROTH, «Hierarchical production planning with part, spatial and time aggregation», *rapport de recherche n° 32*, ISR, University of Maryland (USA), 1994.
- [37] J.-M. PROTH, N. SAUER, X. XIE, «Optimization of the number of transportation devices in a flexible manufacturing system using event graphs», *rapport de recherche n° 2359*, INRIA-Lorraine, septembre 1994.

Divers

- [38] J. ANTONIO, C. CHU, J.-M. PROTH, P. WOLFF, «Rapports 1 à 6 sur le Contrat POEM», 1994.
- [39] J.-M. BEAUVILLE, R. CABIROL, F. CHU, J. GRANDMOUJIN, N. S. J.-M. PROTH, L. WANG, «Rapport final du projet SIREP», 1994.
- [40] T. BUR, M. LEBRUN, J.-M. PROTH, N. SAUER, X. XIE, «Rapports 1 à 7 sur le Contrat ModeExpPer», 1994.
- [41] C. CHU, J.-M. PROTH, «Rapports 1 à 9 sur le projet ESPRIT HIMAC», 1994.

8 Abstract

The SAGEP project focuses on the preliminary design and management of manufacturing systems. The main research directions are the following:

- Modeling and evaluation of discrete event systems. Most of the research done in this area is based on Petri nets;
- Management of manufacturing systems. This area includes, but is not limited to, scheduling and hierarchical management.

A more recent research area is predictive maintenance. Its goal is to predict manufacturing breakdowns by means of a model whose parameters are adjusted using the recent history of the system.

The SAGEP project has also accumulated a wide experience in manufacturing layout, which is related to combinatorial optimization.

Research tracks:

- Extension of the Petri net tool for specifying, evaluating and managing production systems;
- Study of hierarchical production management systems, including problems of flow control and scheduling, as well as planning for randomly affected assembly systems;
- Stochastic models for predictive maintenance.

International and industrial relations:

- Contracts with CNES, PECHINEY, SOLLAC, SERETE, ARBED, CAP GEMINI SESA, ILOG, SCORIL, the D'HUART Group, RENAULT, and PEUGEOT;
- Participation in Esprit Amice, Coala, and Himaç projects, and in the Eurêka Famos project;
- Collaboration with the University of Maryland (Institute for Systems Research), Georgia Institute of Technology, the University of Torino, the Université Libre in Brussels, Shenyang Institute of Automation, Rensselaer Polytechnic Institute, Tshinghua University in Beijing and Xi'an Jiaotong University.

Table des matières

1	Composition de l'équipe	1
2	Présentation du projet	3
3	Actions de recherche	4
3.1	Modélisation et évaluation du comportement des systèmes à événements discrets	4
3.1.1	Les systèmes cycliques	4
3.1.2	Les systèmes non cycliques	5
3.1.3	Vérification incrémentale des propriétés qualitatives des réseaux de Petri	6
3.2	Agencement des systèmes de production	7
3.3	Gestion de production hiérarchisée	7
3.4	Ordonnancement	8
3.4.1	Ordonnancement avec contraintes de précédence et temps de séparation minimaux et maximaux	8
3.4.2	Ordonnancement d'un pont roulant en galvanoplastie	9
3.4.3	Minimisation de la somme des retards et des avances	10
3.4.4	Ordonnancement d'un atelier flexible	10
3.4.5	Ordonnancement d'une cellule flexible robotisée	11
3.4.6	Minimisation de la somme des temps d'attente	11
3.4.7	Ordonnancement des tâches de bureau	11
3.5	Gestion des stocks	12
3.5.1	Gestion de stocks avec contraintes sur les décisions	12
3.5.2	Gestion de stocks avec demandes aléatoires	13
3.6	Maintenance prédictive	13
3.6.1	Systèmes à une unité	13
3.6.2	Systèmes à deux unités	14
3.7	Conception de systèmes décisionnels	14

4	Actions industrielles	15
4.1	Projet POEM (Problème d'Optimisation d'Emballage Multidimensionnel)	15
4.2	Projet ESPRIT HIMAC 8141 (Hierarchical Management and Control in manufacturing systems)	15
4.3	Projet ModExpPer (Modélisation de la demande et de l'Expression du besoin en vue de Performances élevées en gestion des stocks)	16
5	Actions nationales et internationales	16
5.1	Actions nationales	16
5.2	Actions internationales	17
6	Diffusion des résultats	19
6.1	Actions d'enseignement	19
6.2	Participation à des conférences et colloques	20
6.3	Organisation de colloques, conférences et cours	20
6.4	Diffusion de produits	20
7	Bibliographie	20
8	Abstract	25