
Projet META2

Méta-automatique et méthodes de l'automatique

Localisation : *Rocquencourt*

Mots-clés : commande optimale, commande stochastique, commande robuste, commande non linéaire, commande des systèmes avec retard, CAO, LMI, système à événements discrets, algèbre max-plus, systèmes implicites, régulation de cours d'eau, système mécanique, réseau de distribution, mathématiques financières, Praxitèle.

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Jean-Pierre Quadrat, DR Inria

Responsable permanent

François Delebecque, DR Inria

Secrétaire

Martine Verneuille, SAR Inria

Personnel Inria

Marianne Akian, CR
Pascal Gahinet, CR (jusqu'en Mai 1996)
Stéphane Gaubert, CR
Claude Gomez, DR
Maurice Goursat, DR
Carlos Klimann, CR
Ramine Nikoukhah, DR
Serge Steer, DR
Agnès Sulem, CR

Chercheurs invités

Ravindra Bapat, Indian Statistical Institute, New Delhi
Steve Campbell, North Carolina University
Albert Shiryaev, Steklov Institute, Moscou
Michael Taksar, Stony Brook University, New York

Chercheur post-doctorant

Greg Becker

Chercheurs doctorants

Ali Alaie, Enseignant UTC, Ecoles des Mines
Chafik Allal, boursier INRIA, Université Paris 9
Mahmoud Chilali, boursier MENESR, Université Paris 9
Oumar Fall, Boursier coopération, Université de Dakar
Habib Jreij, boursier INRIA, Université Paris 9
Arnaud Tisseyre, boursier CIFRE Banque Hervet, Université de Paris 9
Dirk von Wissel, boursier HCM, Ecole des Mines

Collaborateur extérieur

Jean-Philippe Chancelier, Ecole des Ponts et Chaussées

Conseiller Scientifique

Guy Cohen, Ecole des Mines de Fontainebleau

Stagiaires

Jean Cochet-Terrasson, Ensta
Gohari Pejman, Université d'Orléans

2 Présentation du projet

L'objet de ce projet est double :

- réaliser des logiciels de CAO à l'usage des automaticiens,
- développer des outils mathématiques et algorithmiques en automatique.

Nous développons les systèmes :

- Scilab : système dédié à l'automatique classique,
- Scicos : simulateur hybride avec entrées graphiques développé dans Scilab,
- Metanet : système expert pour la gestion et l'optimisation des réseaux de distribution (d'eau, d'électricité, de gaz, ...),
- Metalido : système spécialisé pour la régulation de cours d'eau développé dans l'environnement Scilab et Metanet,

Les thèmes de recherche étudiés sont centrés autour de la commande hors ligne des systèmes et de la théorie des systèmes. Plus particulièrement, les points suivants ont été abordés cette année :

- la théorie des systèmes linéaires,
- la commande robuste,
- simulation numérique de systèmes mécaniques,
- la commande des systèmes avec retard dans l'observation ou la commande,
- la théorie linéaire des systèmes à événements discrets temporisés et ses applications,
- les systèmes hybrides,
- la commande optimale des systèmes dynamiques, et des applications à des problèmes de finance, de gestion et de transport,
- la simulation numérique et la régulation de cours d'eau,
- la détection de pannes dans les systèmes dynamiques.

3 Actions de recherche

3.1 CAO en automatique

3.1.1 Scilab

Participants : Jean-Philippe Chancelier, François Delebeque, Claude Gomez, Maurice Goursat, Carlos Klimann, Ramine Nikoukhah, Serge Steer

Scilab est un logiciel développé depuis plusieurs années dans le projet. C'est un logiciel général de calcul scientifique comportant un langage de commande dont la syntaxe est très proche de la syntaxe Matlab en ce qui concerne la manipulation des matrices. Les objets manipulés dans Scilab sont ceux de l'automatique : systèmes dynamiques, matrices de transfert, polynômes et matrices polynomiales etc. La manipulation de listes permet la définition en ligne de nouveaux objets. L'interpréteur fait appel à des bibliothèques de calcul numérique pour l'algèbre linéaire, l'optimisation et la simulation. Scilab est distribué gratuitement par Internet avec l'intégralité des sources. Scilab est organisé de façon à pouvoir facilement s'enrichir de nouveaux modules de calcul, en particulier les modules disponibles sous forme source sur le réseau Netlib. Cette politique, en conjonction avec l'outil d'interfaçage *Intersci*, permet d'avoir des configurations du logiciel adaptées à des utilisations variées et une diffusion plus efficace.

Diverses améliorations ont été apportées cette année sur l'interpréteur de Scilab : extraction et insertion récursive dans les listes, passage de paramètres optionnels par nom dans les fonctions, révision de quelques points de syntaxe, introduction d'une variable spéciale pour indiquer les indices maximaux d'un vecteur ou une matrice.

Un autre travail important a porté sur le graphique. En effet, il n'était pas possible jusqu'à présent d'utiliser plus de 16 couleurs dans Scilab. Il est maintenant possible de définir des tables de couleur (colormaps), et d'en changer à sa convenance.

Le portage de Scilab s'est poursuivi sous Windows95 et WindowsNT. Une version expérimentale fonctionne. Les possibilités graphiques complètes de Scilab sont en cours de programmation.

3.1.2 Scicos

Participants : Ramine Nikoukhah, Serge Steer

Scicos est un ensemble éditeur - simulateur pour les systèmes dynamiques hybrides. Une première distribution en β -test a été faite.

Plusieurs améliorations ont été apportées cette année portant sur :

- la gestion de liens d'interconnexion vectoriels,
- le passage de paramètres donnés sous forme d'expression (au lieu de valeurs),
- l'interface graphique visuelle des blocs. Une validation a été réalisée dans le cadre de Metalido (stage de G. Pejman).

3.1.3 Metanet

Participants : Claude Gomez, Maurice Goursat

Metanet est la boîte à outils de Scilab pour les problèmes de graphes et les études de réseaux de services (construction, modélisation, identification et optimisation de réseaux).

Le travail de cette année a consisté à compléter Metanet pour que ses fonctionnalités restent plus larges que celles de ses concurrents. Un ajout de fonctions concernant des problèmes de mathématiques discrètes souvent couplés avec les problèmes de graphes, a été fait. Le tutorial sur Metanet en cours d'écriture présentera ces nouvelles fonctionnalités. Cette nouvelle version de Metanet sera disponible dans la prochaine release de Scilab.

Metanet, dans l'environnement Scilab, a été présenté à la conférence CACSD96 ainsi qu'aux journées du GDR programmation d'Orléans.

3.1.4 Métalido et commande robuste des systèmes à retard

Participants : Habib Jreij, Jean-Pierre Quadrat, Serge Steer

Ce travail fait l'objet d'un contrat EDF/DER depuis plusieurs années. L'objet est l'écriture d'un logiciel ergonomique intégrant l'expérience d'EDF sur la régulation des cours d'eau aménagés. Métalido est constitué de Scilab de Lido (système d'intégration numérique des équations de St Venant dans des réseaux fluviaux) et d'un ensemble de programmes spécialisés à la régulation des cours d'eau écrits dans Scilab. Une version est actuellement opérationnelle à EDF-LNH-Chatou qui en assure désormais l'évolution.

L'objet du travail de thèse de H. Jreij est de justifier et d'améliorer la régulation proposée par EDF. Cette année des améliorations ont été apportées au niveau : (1) de la décomposition et coordination de la régulation des divers biefs (zones aménagées d'une rivière), (2) de la détermination de la régulation des régulateurs locaux. Les méthodes proposées ont été validées par de nombreux essais numériques dans Métalido.

La décomposition-coordination de la régulation utilise la structure proposée par EDF : anticipation série (feedforward du bief amont), anticipation parallèle (feedforward du bief de tête). L'amélioration proposée consiste à optimiser les filtres linéaires d'anticipation dans une classe donnée. L'effet du choix des classes de filtres sur le fonctionnement global a été étudié en simulation.

En première approximation, un bief peut être décrit comme un retard en cascade avec une intégration. Le régulateur local proposé est un compensateur robuste non linéaire basé sur les méthodes à modèles internes de Morari. Au régulateur linéaire robuste est rajouté un gain non linéaire tenant compte des différentes zones de fonctionnement. La stabilité de l'ensemble peut être assurée facilement. Les essais numériques ont montré l'intérêt d'une structure à deux degrés de liberté permettant de découpler le rejet de perturbations et la poursuite de consigne. Le régulateur a été conçu sur des modèles de précision variable obtenus par les méthodes d'identification L^2 de Baratchart. Les régulateurs basés sur les modèles les plus simples donnent des résultats convenables du fait de la qualité du rejet de perturbation.

Les résultats ont été présentés au CDC [149] et à la conférence 2AO [146]. Le régulateur local a été aussi implémenté en Scicos par G. Pejman dans le cadre de la validation de Scicos sur des exemples complexes.

3.2 Génie

Participants : François Delebecque, Claude Gomez, Maurice Goursat

Dans le cadre du thème 1 (conception de logiciels critiques) du projet Génie (collaboration entre Dassault-Aviation, l'Inria et les sociétés de technologie de l'Inria), le groupe de travail pluridisciplinaire mis en place l'année dernière a continué à se réunir régulièrement jusqu'à la fin Juin.

Le principal problème posé était celui de la faisabilité de la preuve en automatique en utilisant des outils comme Coq. Une étude de cas a été réalisée en prenant l'exemple simple (glissement non linéaire) d'une roue freinée en anti-patinage. La conclusion a été qu'en l'état actuel des connaissances, il semble très difficile d'utiliser symboliquement avec une machine les résultats mathématiques dans le domaine, surtout dans le cas le cas non linéaire où interviennent des changements de modèles que l'on détecte en général numériquement.

Cela a donné lieu à la rédaction d'un document fourni à Dassault-Aviation ([157]).

3.3 Commande des systèmes

3.3.1 LMI

Participants : Greg Becker, Mahmoud Chilali, Pascal Gahinet

Rappelons que la méthode LMI (Linear Matrix Inequalities) vise à ramener l'ensemble des problèmes de l'automatique linéaire classique à la résolution de systèmes d'inéquations linéaires. Ces systèmes d'inéquations linéaires sont alors résolus par des techniques d'optimisation convexe pour lesquelles des algorithmes efficaces existent.

Les problèmes de stabilité, d'optimisation H^2 , d'optimisation H^∞ , de placement de pôle, d'obtention de spécification temporelle sur le temps de réponse ou le dépassement ont pu être ramenés à la résolution de LMI.

M. Chilali a étudié quelques-uns de ces problèmes avec des apports originaux sur le placement de pôle dans des régions du plan complexe de formes variées. Il a montré ainsi que la régulation par retour de sortie multi-objectif se ramène à des LMI, dans [118], [123], [137], .

Une application industrielle dans le cadre d'un contrat avec EDF sur la régulation de réacteur à eau pressurisée a été menée à bien par G. Becker et présentée dans [134].

3.3.2 Commande robuste

Participants : François Delebecque, Ramine Nikoukhah

La thèse de P. Coustal s'est poursuivie cette année dans le cadre d'une collaboration avec la SFIM (problèmes d'amortissement actif pour des structures flexibles). De nouvelles applications ont été abordées dans le cadre de la méthodologie générale développée : en particulier, une préétude a été faite sur un système de miroirs déformables en vue d'une application pour un laser de puissance.

La collaboration avec l'Ensta s'est poursuivie : S. Dussy a étudié une méthodologie par LMI pour la commande robuste multi-critère de systèmes nonlinéaires incertains. Diverses implémentations ont été faites sur des benchmarks classiques. Une approche LMI des problèmes de précision finie a aussi été commencée.

3.3.3 Commande non linéaire de systèmes mécaniques

Participants : François Delebecque, Ramine Nikoukhah, Dirk von Wissel

Le travail a porté cette année sur l'application de la méthode générale de commande non linéaire, développée dans la thèse de Dirk von Wissel, à des problèmes en observation incomplète. On a montré que l'approche numérique proposée, utilisant des solveurs de systèmes implicites, pouvait s'appliquer efficacement à la construction d'observateurs non linéaires. Une méthodologie générale a donc été obtenue pour le calcul de commandes de suivi de trajectoires et la construction d'observateurs, permettant ainsi de résoudre des problèmes en observation partielle. Le travail théorique relatif aux problèmes de commande a consisté principalement à étudier l'effet de retard de calcul imposé par la méthode utilisée dans la conception du compensateur [131].

Les observateurs non linéaires sont en général considérés comme des systèmes d'équations différentielles ordinaires. On a proposé une approche fondée sur les systèmes implicites (DAE). La principale difficulté dans la conception d'observateurs non linéaires est la stabilisation de l'équation d'erreur. L'approche proposée est plus simple que l'approche traditionnelle car certaines non linéarités peuvent être éliminées dans l'équation d'erreur. L'estimation de l'état est obtenue par une intégration numérique d'un système implicite nonlinéaire. On a étudié les cas des systèmes d'indice un ou d'indice deux semi-implicites pour lesquels la dynamique de l'erreur peut être rendue linéaire mais dépendante du

temps. De tels systèmes peuvent se mettre sous la forme :

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= f(x_1, x_2, u) + F(x_1, u)x_3 \\ \dot{x}_3 &= g(x_1, x_2, u) + G(x_1, u)x_3 \\ y &= x_1\end{aligned}$$

Cette forme particulière est souvent utilisée dans la modélisation de systèmes dynamiques. On a donné aussi des conditions pour lesquelles la stabilisation de l'équation d'erreur peut être obtenue par des techniques de fonctions de Lyapounov par séquençement de gains. Cette méthode a été illustrée sur un modèle de robot à joints flexibles et un modèle de moteur électrique à trois phases. Ces travaux ont été faits en collaboration avec S. Campbell (North Carolina State University) dans le cadre d'une convention NSF-Inria et présentés au MTNS et au Cesa.

3.3.4 Systèmes implicites (descripteurs)

Participant : Ramine Nikoukhah

Dans le cadre d'un travail en commun avec B. Levy (UC Davis) et A. Benveniste, l'étude des problèmes d'estimation linéaire pour les systèmes dynamiques descripteurs ainsi que les liens avec les problèmes de commande du type LEQG s'est poursuivi. Des applications aux problèmes de détection de pannes sont aussi étudiées. A. Alaïe a commencé une thèse sur ce sujet.

3.3.5 Systèmes hybrides

Participants : Ramine Nikoukhah, Serge Steer

La réflexion sur le synchronisme initialisée lors de la conception de Scicos a été poursuivie. Un formalisme permettant de modéliser des systèmes synchrones et de communiquer avec Signal et Syndex est à l'étude. Ceci devrait permettre l'utilisation de Syndex pour la génération de codes directement utilisables par des micro-contrôleurs à partir de spécifications de haut niveau dans Scilab.

3.3.6 Commande du système Praxitèle

Participants : Chafik Allal, Claude Gomez, Maurice Goursat, Jean-Pierre Quadrat

Rappelons que l'objet de cette action est d'étudier la modélisation et l'optimisation d'un domaine Praxitèle c.a.d. i) de définir le mode de gestion d'un domaine Praxitèle, ii) de dimensionner les parkings, iii) d'optimiser le dimensionnement du système de ramassage (hauts le pied) de praxicars (voitures électriques), iv) de déterminer les routages des hauts le pied (système de transport des voitures).

Cette année, le point iv) a été étudié particulièrement. Il s'agit du problème difficile d'organisation de tournées de véhicules avec collectes et livraisons. Une étude systématique des modèles et méthodes utilisés a été faite. Une nouvelle formulation du problème permettant à la fois d'optimiser les routes des hauts le pied, le nombre de hauts le pied, la taille des stocks et le nombre de praxicars a été obtenue. Le problème d'optimisation à résoudre est non linéaire convexe et a été résolu par une méthode de pénalisation.

Le logiciel développé sous Scilab permet de dimensionner un système Praxitèle et de résoudre le problème dynamique sur l'échelle d'une journée en enchaînant une suite de problèmes stationnaires.

Les résultats ont été présentés dans [326], [142] et [133].

3.3.7 Problèmes de classification de systèmes de sous-espaces linéaires

Participant : Carlos Klimann

On sait que beaucoup de problèmes d'algèbre linéaire dans les espaces vectoriels de dimension finie peuvent être ramenés à l'étude de la classification de systèmes de sous-espaces. On étudie (en collaboration avec Henry Crapo, (Maison de Sciences de l'Homme, Paris) dans [156] le lien existant entre la *dimension* des sous-espaces d'un espace vectoriel de dimension finie avec la relation de modularité.

$$r(A \cup B) + r(A \cap B) = r(A) + r(B)$$

où A et B sont des sous-espaces $r(A) = \dim(A) + 1$ et $\dim(A)$ désigne la dimension de A . Le propos de cette étude est de montrer que toutes les propriétés intéressantes des configurations de sous-espaces proviennent de la non vérification des généralisations naturelles de cette relation quand elle est appliquée à plus de deux sous-espaces.

3.4 Systèmes à événements discrets, algèbre max-plus et programmation dynamique

De nombreux phénomènes ont des dynamiques régies par l'équation de la programmation dynamique déterministe. Ils peuvent être décrits de façon linéaire dans l'algèbre max-plus. L'exemple devenu classique est celui des graphes d'événements (sous classe des réseaux de Pétri ne comportant que des synchronisations). Les systèmes hamiltoniens en sont un deuxième exemple. Une théorie des systèmes linéaires a été développée au cours des années précédentes. L'an dernier un certain nombre de classes de systèmes non linéaires dans l'algèbre max-plus se ramenant à des problèmes de commande stochastique ont été mis en évidence. Depuis plusieurs années, la dualité existant entre le calcul des probabilités et l'optimisation est étudiée.

3.4.1 Vers une approche géométrique des systèmes linéaires max-plus et applications

Participants : Guy Cohen, Stéphane Gaubert, Jean-Pierre Quadrat

Une étude nouvelle a débuté cette année dont le but est d'étudier des grands systèmes. Une première réflexion a commencé sur l'aggrégation. Ce problème se ramène à l'étude des espaces invariants d'un opérateur max-plus linéaire. Les espaces invariants dans l'algèbre max-plus ont des structures complexes. Dans la figure suivante, on peut voir l'image d'un opérateur de rang 2 noté $\text{Im}(B)$ (qui est un espace invariant) et une fibration de l'espace par des objets de différentes formes. Cette fibration correspond à la notion de noyau dans l'algèbre linéaire usuelle ($\{C^{-1}C(x)\}$).

Malgré la complexité de la géométrie, il est possible de trouver une forme explicite aux projecteurs linéaires. Etant donné $U \xrightarrow{B} \mathcal{X} \xrightarrow{C} \mathcal{Y}$ où B et C sont des opérateurs linéaires de dimension finie tels que les $P_x \stackrel{\text{def}}{=} \text{Im}(B) \cap C^{-1}C(x)$ soient réduits à des singletons pour tout x dans \mathcal{X} , alors l'opérateur P joue le rôle du projecteur sur l'image de B parallèlement au noyau de C de l'algèbre classique. Sa forme est explicite est donnée par les formules :

$$P = B(CB \setminus C) = (B/CB)C$$

où $(A \setminus C)$ [resp. (B/A)] désigne le plus grand X solution de $X : AX \leq C$ [resp. le plus grand X solution de $XA \leq B$] (on sait calculer explicitement $A \setminus C$ et B/A).

Ces résultats exposés dans [138] devraient permettre le développement d'une approche géométrique des systèmes linéaires max-plus dans l'esprit de l'étude faite par Wonham dans le cas classique.

Dans une première étape, les conséquences sur l'aggrégation de système dynamique ont été étudiées dans [155]. Dans ce même travail, les liens entre l'algèbre max-plus et la mécanique statistique ont été faits dans les cas les plus simples. Enfin, l'analogie max-plus des équilibres locaux permettant de décomposer la mesure invariante d'un réseau de file d'attente en produit de mesures invariantes de files

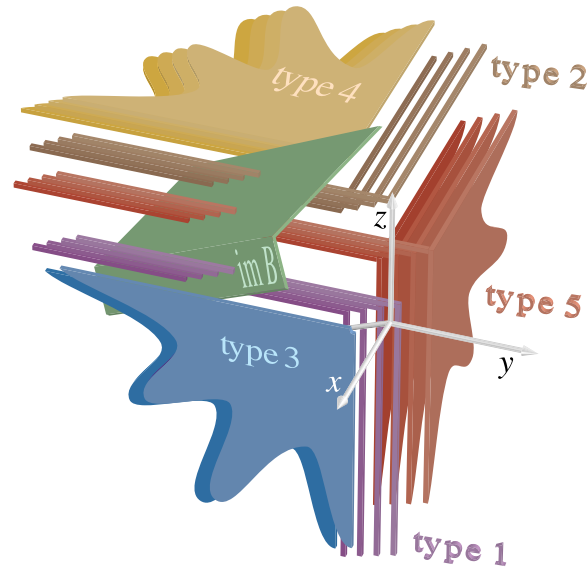


Figure 1: Image et Noyau $(\max,+)$ en somme directe

d'attentes individuelles a été mis en évidence. On rejoint ici des travaux anciens faits à l'Inria sur les chaînes de Markov.

Ces travaux sur les grands systèmes max-plus se poursuivront dans le cadre d'un projet Esprit appelé ALAPEDES, ayant démarré cette année.

3.4.2 Automates tropicaux et applications aux Systèmes à Événements Discrets

Participant : Stéphane Gaubert

En collaboration avec Jean Mairesse (BRIMS-HP et LITP-CNRS), nous avons poursuivi le travail des années précédentes sur l'emploi des automates à multiplicités sur le semi-anneau max-plus comme outils de modélisation de systèmes à événements discrets temporisés. Les résultats marquants cette année sont :

(1) une caractérisation du pouvoir de modélisation de ces objets, en termes de classes de réseaux de Petri (ces automates unifient les résultats classiques à la Mazurkiewitch de représentation de sous classes de réseaux de Petri par des langages de trace, ainsi que les résultats de modélisation max-plus linéaire des graphes d'événements). Il s'agit d'une vraie extension de la classe de systèmes analysables par des techniques max-plus.

(2) Le développement de nouveaux algorithmes d'évaluation de performance basés sur ces représentations en termes d'automates, lesquels se révèlent particulièrement adaptés à la comparaison d'ordonnements.

3.4.3 Généralisations de l'algorithme de Howard

Participants : Jean Cochet-Terrasson, Stéphane Gaubert, Jean-Pierre Quadrat

[Ce travail a bénéficié de deux visites de S. Gaubert à BRIMS, HP, Bristol, à l'invitation de Jeremy Gunawardena]

L'algorithme de Howard, ou "d'itération sur les politiques", est l'une des méthodes bien connues pour résoudre l'équation de la programmation dynamique, par exemple pour un processus de décision Mar-

kovien stationnaire, en horizon infini, avec coût moyen :

$$\lambda + V_x = \min_{u \in U(x)} [c_{xu} + \sum_y P_{xy} V_y] , \quad (1)$$

où V désigne la fonction valeur, λ le coût moyen par unité de temps, et où sont donnés U , c , P (commandes admissibles, coûts, probabilités de transition). Pour fixer les idées, états et commandes varient dans des ensembles finis.

Moins familier est peut-être l’analogie “min-max” de (1) :

$$\lambda + V_x = \min_{u \in U(x)} \max_{y \in Y(u,x)} [C_{xy} + V_y] , \quad (2)$$

où l’on reconnaît l’équation de la programmation dynamique stationnaire d’un jeu déterministe.

Le stage de Jean Cochet-Terrasson ENSTA a consisté :

(1) à implémenter en Scilab une version générale de l’algorithme de Howard, valable pour des matrices de probabilité multichaînes, et pour les extensions semi-Markov de (1), qui apparaissent dans l’étude des réseaux de Pétri temporisés en approximation fluide;

(2) à étudier les extensions au cas min-max (2).

La conclusion principale de (1) est que l’application de l’algorithme de Howard au calcul du taux de production de graphes d’événements temporisés est d’une complexité moyenne bien inférieure aux méthodes communément employées dans la communauté des systèmes à événements discrets.

Un analogue min-max simple de l’algorithme de Howard a été donné, sous certaines hypothèses d’accessibilité. Il requiert à chaque étape, la résolution d’un problème spectral $\lambda \otimes x = A \otimes x$ sur le semi-anneau max-plus (au lieu d’une équation linéaire ordinaire pour l’algorithme de Howard classique). Ce résultat a des corollaires théoriques notables sur un problème trompeusement simple posé par Olsder et Gunawardena. On appelle fonction min-max une application de $R^n \rightarrow R^n$, finiment exprimée par les opérations min, max, +, les variables apparaissant de manière additivement homogène, par exemple, $y = f(x)$, avec $y_1 = \min(7 + x_1, \max(3 + x_2, 5 + x_1))$, $y_2 = x_1 + 5$, définit une fonction min-max. On reconnaît par exemple dans (2) un problème spectral $f(V) = \lambda + V$. Il s’agit de caractériser l’existence de points fixes et vecteurs propres de fonctions min-max, et d’étudier l’asymptotique des suites $x_{n+1} = f(x_n)$, en particulier le vecteur de “temps de cycle” $\chi = \lim_n x_n/n$. L’itération sur les politiques min-max fournit une condition d’existence d’un vecteur propre d’une fonction min-max. Plus généralement, le calcul effectif du vecteur de temps de cycle semble à la portée de ces techniques (travail en cours).

3.4.4 Équations max-plus linéaires

Participant : Stéphane Gaubert

On a rapproché les travaux de Peter Butkovič (Université de Birmingham) et Raymond Cuninghame-Green sur les matrices “régulières” sur le semi-anneau max-plus, la récente théorie de la solvabilité par signe des systèmes, et la “symétrisation” du semi-anneau max-plus, développée dans le projet depuis plusieurs années (il s’agit de donner des conditions —de type Cramer, ou autre— pour l’existence et l’unicité de solutions d’équations linéaires générales dans ce semi-anneau). Une remarque décisive est la suivante. On dit qu’un système $Ax = b$ dans l’algèbre usuelle est résoluble par signe, si la connaissance du signe de la matrice A et du vecteur b suffit à déterminer le signe de x . Il se trouve que les conditions “de Cramer” pour le système carré $Ax \oplus b = Cx \oplus d$ dans le semi-anneau max-plus sont essentiellement identiques aux conditions de solvabilité par signe, qu’elles généralisent en un certain sens. On travaille à la synthèse de ces résultats, ainsi qu’aux questions algorithmiques ouvertes reliées.

3.4.5 Asymptotique de la valeur propre et du vecteur propre de Perron

Participants : Marianne Akian, Ravindra Bapat, Stéphane Gaubert

De nombreuses applications (méthode de la matrice de transfert en physique statistique) font intervenir les valeurs propres et vecteurs propres de matrices de la forme

$$\mathcal{A}_\beta = (\exp(-\beta A_{ij})) ,$$

où $A = (A_{ij})$ est une matrice réelle donnée, et β est un grand paramètre. Il n'est pas trop difficile de voir que la valeur propre de Perron de \mathcal{A}_β , ρ_β , satisfait la propriété de type "grandes déviations"

$$\lim_{\beta \rightarrow \infty} -\frac{1}{\beta} \log \rho_\beta = \rho_{\min,+}(A) , \quad (2)$$

où $\rho_{\min,+}(A)$ désigne la valeur propre de la matrice A sur le semianneau min-plus; et que le vecteur propre de Perron de \mathcal{A}_β , u_β (unique à une constante multiplicative près), satisfait lorsque la limite existe

$$\lim_{\beta \rightarrow \infty} -\frac{1}{\beta} \log (u_\beta)_i = v_i , \quad (3)$$

où v est un vecteur propre min-plus de A . Bien que la matrice A soit finie et donc irréductible au sens de la théorie spectrale min-plus, on a en général plusieurs directions propres. Il s'agit de montrer des résultats asymptotiques plus précis, et surtout de caractériser de manière "combinatoire" (en termes de graphe) la direction propre particulière que ce procédé limite sélectionne.

On a caractérisé simplement cette direction propre dans les cas non dégénérés, et donné une procédure d'agrégation permettant de déterminer la direction propre limite en général. Autour des cas dégénérés, le vecteur propre min-plus sélectionné est remarquablement instable par rapport aux coefficients de A ; on obtient un phénomène de type transition de phase ferromagnétique. Ces résultats tendent à unifier la théorie spectrale min-plus et la théorie de Perron-Frobenius, la première apparaissant comme un cas limite singulier de la seconde.

3.4.6 Mesures de coût

Participants : Marianne Akian, Jean-Pierre Quadrat, Michel Viot

Nous développons une théorie des probabilités dans laquelle le demi-corps $(\mathbb{R}^+, +, \times)$ est remplacé par le demi-corps idempotent $\mathbb{R} \cup \{+\infty\}$ muni des opérations min et plus, appelé algèbre min-plus. Ceci permet d'étudier l'optimisation et le contrôle optimal au moyen du formalisme probabiliste. Sous certaines conditions, la probabilité (appelée ici mesure de coût) d'un ensemble correspond au minimum d'une fonction sur cet ensemble [121]. Imposer à l'analogue d'une variable aléatoire (appelée variable de décision) d'appartenir à un ensemble équivaut à mettre des contraintes sur le problème d'optimisation. La propriété de Markov correspond au principe de la programmation dynamique de Bellman. L'analogue des processus de Markov sont des problèmes de commande optimale que nous appelons donc processus de Bellman.

Les notions de convergence faible et de tension d'une suite de mesures de coût ainsi que leur comparaison avec les notions de convergence en épigraphe et d'equi-inf-compacité introduites en analyse convexe ont été étudiées dans [122]. Elles ont permis d'établir la loi des grands nombres, le théorème de la limite centrale ainsi que la convergence de certaines approximations de processus de Bellman.

La transformée de Cramer, introduite en théorie des grandes déviations, envoie les probabilités classiques dans les mesures de coût. L'image de variables aléatoires indépendantes sont des variables de décision indépendantes. La loi des grands nombres et le théorème de la limite centrale min-plus peuvent alors se voir comme images des théorèmes classiques correspondants, à condition que la transformée de Cramer soit continue. Dans [152], on étudie cette continuité quand les espaces de mesures de départ et d'arrivée sont munis des topologies de la convergence faible. On montre que la transformée de Cramer

est continue dans le sous espace des probabilités logconcaves et on donne des contre-exemples dans le complémentaire.

Par delà l'analogie avec la convergence faible classique et sa correspondance par la transformée de Cramer, la convergence faible de mesures de coût peut se voir comme la limite du principe des grandes déviations de Varadhan. Ces 3 types de convergence peuvent se regrouper en une seule notion, la convergence faible de "mesures" générales (qui dans certains cas sont des capacités). L'étude de cette notion de convergence faible est en cours.

Le théorème ergodique pour les chaînes de Bellman ainsi que les grandes déviations à la loi des grands nombres min-plus sont aussi en cours d'étude.

3.5 Mathématiques financières

L'objet de ces recherches est d'appliquer les techniques de commande optimale stochastique à des problèmes de finance. Certains de ces travaux se font en collaboration avec la Banque Herve dans le cadre d'une bourse Cifre. Une collaboration avec Coface débute.

3.5.1 Contrôle stochastique et applications financières

Participants : Marianne Akian, Albert Shiryaev, Agnès Sulem, Michael Taksar

– *Le problème ergodique en gestion de portefeuille* : Nous avons poursuivi l'étude de problèmes de gestion de portefeuille avec coûts de transaction dans le cas ergodique. Nous étudions la politique optimale d'investissement d'un agent possédant un actif non risqué et plusieurs actifs risqués modélisés par des processus de diffusion log-normaux. Les transactions entre comptes entraînent des coûts proportionnels au montant de la transaction et sont modélisés par des contrôles singuliers. Il s'agit d'optimiser le taux moyen de profit de la forme $\liminf_{T \rightarrow \infty} T^{-1} E\{\log \rho(T)\}$.

On a étudié l'existence, l'unicité et la régularité des solutions de viscosité de l'inéquation variationnelle (IV) ergodique associée. La résolution numérique de l'IV nous a permis d'obtenir la stratégie optimale de transaction, c'est à dire de déterminer les frontières entre les régions où il est optimal d'acheter, de vendre ou de laisser évoluer sans transaction chaque actif (voir [154]).

– *Détermination de la politique optimale de consommation et d'investissement dans un modèle avec sauts* : On modélise le prix π_t d'une action par un processus log-normal et l'on cherche à maximiser

$$E_{t,v,\pi}^u \int_t^T \pi_s (1 - u_s) dN_s$$

où $u = u(t, \omega)$ est un processus de contrôle à valeur dans $[0, 1]$ représentant la part d'investissement pour accroître la production. La part $1 - u_t$ est dédiée à la consommation. N_t est un processus de comptage de la forme $A_t^u + m_t^u$ avec

$$A_t^u = \int_0^t \lambda_s^u(N) ds$$

où l'intensité est de la forme

$$\lambda_s^u(N) = \lambda + cv_s(N)$$

avec

$$v_s(N) = \int_0^s \pi_t u_t dN_t.$$

On peut résoudre ce problème de manière explicite dans le cas où le prix est une fonction déterministe.

On étudie le cas stochastique par des techniques d'optimisation dynamique.

– *Optimisation des flux de dividendes* : Nous étudions une extension du modèle de Shepp et Shiryaev : il s'agit de d'optimiser le flux de dividendes

$$\max_{\tau, Z} E_x \left\{ \int_0^\tau e^{-\lambda t} dZ_t + e^{-\lambda \tau} X_\tau \right\}$$

versés par une société dont le capital évolue selon l'équation différentielle stochastique :

$$dX_t = \mu dt + \sigma dW_t - dZ_t + \alpha X_t I(X_t < 0) dt$$

où le processus $Z = (Z_t)_{t \geq 0}$, positif et croissant, caractérise la stratégie de paiement des dividendes par la compagnie, et le temps d'arrêt τ correspond à l'atteinte d'un seuil de perte intolérable entraînant l'arrêt de ses activités.

On étudie la politique optimale par l'étude de l'équation de la Programmation Dynamique associée.

– *Le modèle de Black and Sholes avec une seule transaction* : Le problème est la couverture d'une option dans le cas où un seul ajustement de portefeuille n'est autorisé sur la période considérée. Le marché est incomplet ; on ne peut plus dupliquer l'option. L'objectif est de déterminer la stratégie qui permet d'obtenir à la date d'échéance de l'option, un portefeuille dont la valeur est le plus proche de la valeur de l'option.

3.6 Contrôle des Processus Stables

Participants : Agnès Sulem, Arnaud Tisseyre

Nous avons étudié la possibilité de définir une généralisation de l'intégrale stochastique d'Ito dans le cas des processus de Lévy, ce qui s'écrit sous la forme :

$$X(T) = X(t) + \int_t^T f(s, \omega) ds + \int_t^T g(s, \omega) dL_\alpha(s) \quad (3)$$

avec f, g aléatoires *ad hoc* et $L_\alpha(t)$ processus de Lévy.

Cette généralisation a pour but de définir une classe manipulable d'intégrales en vue d'aborder la résolution d'équations différentielles stochastiques dans les espaces de Lévy.

Parallèlement, des travaux sont menés pour établir la forme du générateur infinitésimal, i.e.

$$\frac{\partial}{\partial t} (E[\phi(t, X(t)) | \mathcal{F}_t])$$

pour une classe de fonctions déterminisantes ϕ la plus grande possible.

L'objectif de ces recherches est l'utilisation des processus de Lévy pour la modélisation d'actifs financiers et l'étude d'une optimisation dynamique de portefeuilles. Nous nous sommes pour l'instant intéressés aux processus de Lévy sous forme intégrale avec intégrands déterministes et satisfaisant un nombre minimal de conditions de régularité.

La modélisation des actifs sous-jacents se fait donc sous la forme (3) avec f et g déterministes et l'on cherche à maximiser la gestion d'une fonction du type

$$\phi(t) - E[\phi(t, X(t)) | \mathcal{F}_t]$$

Cette étude rentre dans le cadre du sujet de recherche proposé pour la création d'un projet Lyapounov avec A. Shiryaev.

4 Actions industrielles

4.1 Contrat EDF

Participants : Greg Becker, Pascal Gahinet

Application des techniques de séquençement de gain par LMI à la régulation d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée (voir LMI).

4.2 Contrat EDF

Participants : Habib Jreij, Jean-Pierre Quadrat, Serge Steer

Régulation des cours d'eau aménagés (voir Métalido).

4.3 Coopération SFIM

Participants : François Delebecque, Ramine Nikoukhah

Cette coopération se fait par l'intermédiaire de l'encadrement de la thèse de P. Coustal sur la commande robuste.

4.4 Banque Hervet

Participants : Agnès Sulem, Arnaud Tisseyre

Convention Cifre avec la Banque Hervet (P. Fournel, Directeur des activités monétaires) sur le sujet "Identification et contrôle des processus stables. Applications à l'optimisation dynamique de portefeuilles" (voir contrôle de processus stable).

4.5 Coface

Participants : Agnès Sulem, Pierre Fournel

Début de collaboration avec la Coface dont le nouveau responsable des activités des marchés est Pierre Fournel (depuis Août 96).

5 Actions nationales et internationales

5.1 Actions nationales

- M. Akian : Organisation du séminaire commun Meta2-Meval.
- S. Gaubert : Coordination avec Jean-Jacques Loiseau (Laboratoire d'Automatique de Nantes) du Groupe de Travail "Algèbres tropicales et applications aux systèmes à événements discrets et à la commande optimale", commun aux GDR-PRC "AMI" et "Automatique". Le groupe vise à rassembler les chercheurs intéressés par la théorie et les applications du semianneau max-plus, et autres semianneaux exotiques. De nature intercommunautaire (automatique, informatique), il donne lieu à de nombreux exposés tutoriaux, ainsi qu'à des exposés spécialisés. La réunion inaugurale, les 6 et 7 Juin, a rassemblé une soixantaine de personnes. Programme et informations peuvent être trouvés sur le serveur WEB du groupe <http://amadeus.inria.fr/TROPICAL>

- C. Gomez, M. Goursat : Membres de l'équipe MC2 du pôle "Interface et environnement" du GDR programmation ; - Membres du groupe de travail Igami (Interfaces graphiques pour les mathématiques et l'informatique) du PRC/GDR AMI (Algorithmique, Modèles, Infographie).
- R. Nikoukhah : Participation à l'Association Ectar (ENSTA).

5.2 Actions internationales

- S. Gaubert : Collaboration dans le cadre d'une action intégrée Tournesol avec Vincent Blondel (Université de Liège) (complexité d'exposants de Lyapunov max-plus, arbres).
- F. Delebecque : Editeur associé Automatica ; - Une session invitée sur Scilab et ses applications a été organisée à CACSD96, Deaborn, Septembre 96.
- F. Delebecque, R. Nikoukhah : Contrat NSF-INRIA avec S. Campbell de l'Université de "North Carolina" sur le système implicite et application à la mécanique.
- R. Nikoukhah : Editeur associé IEEE Automatic Control.
- J.P. Quadrat : Editeur du Journal électronique : ESAIM:COCV de la SMAI.

6 Diffusion des résultats

6.1 Actions d'enseignement

- S. Gaubert : Cours sur les Systèmes à Événements Discrets en troisième année à l'ENSTA. 21 heures ; - TD-TP du cours "Systèmes dynamiques à événements discrets" commun École des Mines/ DEA Automatique Orsay (cours magistral : Guy Cohen).
- C. Gomez : Co-organisateur et enseignant à l'École Inria " Calcul formel pour les applications. Utilisation du système Maple ", Inria Lorraine, 29-31 Mai 1996 ; - Cours de calcul formel au Pôle Universitaire Léonard de Vinci dans la formation de post-gradués : calcul scientifique.
- C. Klimann : Cours (1ère année) de Mathématiques pour l'Informatique (A1), Conservatoire National des Arts et Métiers ; - Cours (2ème année) de Mathématiques pour l'Informatique (A2), Conservatoire National des Arts et Métiers ; - Cours d'algorithmes numériques à l'ENSTA.
- R. Nikoukhah : Cours de programmation dynamique (ESIEE) ; - Cours de commande robuste (ESIEE) ; - Cours de commande stochastique (ENSTA) ; - Cours d'automatique (PULV) ; - Cours de traitement du signal (PULV) ; - Participation au cours d'Automatique 2ème année (ENSTA) ; - Participation au cours d'Algorithmes numériques (ENSTA) ; - Encadrement du stage de G. Pejman.
- J.P. Quadrat : Travaux dirigés d'analyse numérique et optimisation, Ecole Polytechnique ; - Cours commande optimale des chaînes de Markov, Ecole Polytechnique.
- S. Steer : Cours Scilab à Paris VI.
- Agnès Sulem : Cours de DEA sur les "Méthodes numériques en gestion de portefeuilles", DEA MASE, Université Paris IX Dauphine ; - Encadrement des stages de DEA à l'Université Dauphine, de
 1. Elouerkhaoui Y. et Sellami R. sur "modèles d'évaluation d'options à volatilité stochastique ((stage effectué à la BIP)."
 2. Patry C. sur "Une seule transaction autorisée dans le modèle de Black et Scholes"
 3. Totobesola J.E. sur "L'optimisation de dividendes"

4. Shahidi N. : “Les modèles ARCH appliqués aux taux de change”
 5. Toutain Olivier : “L’évaluation d’options barrières sur obligations” (stage effectué au Crédit Lyonnais)
 6. Rodriguez V. : “Détermination de la probabilité neutre au risque par maximisation de l’entropie” (stage effectué au Crédit Lyonnais) ;
- Encadrement du séminaire de l’École Centrale de Philippe Roger et Raphael Lastman sur le “contrôle ergodique en gestion de portefeuilles” puis encadrement de leur stage de DEA à l’Université Dauphine.

6.2 Participations à des séminaires

- M. Akian : Séminaire Fractales-Meta2-Meval, Inria Rocquencourt, 11 Janvier 96, Probabilités et Optimisation ; - Séminaire Statistiques et Automatique, Orsay, 18 Janvier 96, Probabilités idempotentes ; - Ecole d’été de calcul des probabilités, St-Flour, Août 96, Des processus stochastiques au contrôle optimal : algèbre ou grandes déviations ? - Séminaire de Probabilités, Université Versailles St-Quentin, Novembre 96, Convergence en loi dans les semi-anneaux et grandes déviations.
- C. Allal : Séminaire Praxitèle St-Pierre de Chartreuse, Janvier 96.
- S. Gaubert : Séminaire ALGO, Inria Rocquencourt, Mars 96 ; - Séminaire au pôle C2A, Paris, mai 96.
- A. Sulem : Séminaire Ceram/Inria Sophia-Antipolis de Mathématiques Financières, Décembre 96.

6.3 Participation à des conférences et colloques

- C. Allal : 4th IEEE Mediterranean Symposium on Control and Automation, Crète, Juin 96 ; - IFORS Conference, Vancouver, Canada, Juillet 96.
- G. Becker : CDC Kobe, Japon, Décembre 96.
- F. Delebecque : CACSD96, Deaborn, Septembre 96 ; - MTNS, Saint-Louis, USA, 23-27 Juin 1996.
- S. Gaubert : Journées Ami, Abbaye de la Bussière, Février 96 ; - WODES’96, Edimburgh, Août 96.
- C. Gomez : CACSD96, Deaborn, Septembre 96.
- M. Goursat : CACSD96, Deaborn, Septembre 96.
- H. Jreij : CDC Kobe, Japon, Décembre 96.
- R. Nikoukhah : 4th IEEE Mediterranean Symposium on Control and Automation, Crète, Juin 96 ; - 2AO 96, Paris, Novembre 96. MTNS, Saint-Louis, USA, 23-27 Juin 1996.
- J.P. Quadrat : MOVEP, Nantes, Juin 1996 ; - WODES’96, Edimburgh, Août 96 ; - Séminaires sur la Mécanique des Grands Réseaux, Inria, Octobre 96.
- S. Steer : 2AO 96, Paris, Novembre 96 ; - Cosy, Lund, Septembre 1996 ; - IFIP, Paris, Juillet 1996.

6.4 Jury de thèse

- S. Gaubert : Rapporteur de la thèse de Bart de Schutter, KUL Leuven, Belgique, Janvier 96.
- R. Nikoukhan : Thèse de F. Mazenc, Ecole des Mines, Avril 1996.
- J.P. Quadrat : Rapporteur de la thèse de Laurent Liebault, Septembre 1996 ; - Thèse de M. Chilali, Mars 1996.
- A. Sulem : Rapporteur de la thèse Silva C. di Marco, Université de Rosario, Argentine, Mars 1996 ; - Rapporteur de la thèse de Lotfi Belkacem, Université Paris-Dauphine, 29 Novembre 1996.

6.5 Diffusion de logiciels

Comme l'an dernier, la diffusion de Scilab s'est faite sur le serveur ftp de Rocquencourt. Les versions sources et compilées y sont disponibles.

La création du serveur WEB de Scilab en Juillet et son inscription dans les annuaires (AltaVista, Yahoo,...) a permis un nouveau type de diffusion. La version Mac, disponible depuis cette année, a aussi été largement diffusée. De nouveaux CD-ROM (Infomagic, Redhat, Suse) contiennent Scilab comme le logiciel de calcul scientifique sous Linux. La diffusion se partage entre recherche publique et industrie.

7 Publications

Thèses

- [118] M. CHILALI, *Méthodes LMI pour l'analyse et la synthèse multi-critère*, thèse de doctorat, Paris 9 Dauphine, Mars 1996.
- [119] D. VON WISSEL, *DAE Control of Dynamical Systems: Example of a Riderless Bicycle*, thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, Juin 1996.

Articles et chapitres de livre

- [120] L. AKIAN, J.L. MENALDI, A. SULEM, «On an Investment-Consumption model with transaction costs», *SIAM J. Control and Optim.* 34, 1, Janvier 1996, p. 329–364.
- [121] M. AKIAN, «Densities of idempotent measures and large deviations», *Transactions of the American Mathematical Society*, à paraître, Version préliminaire dans le rapport Inria No. 2534.
- [122] M. AKIAN, J.P. QUADRAT, M. VIOT, *Duality between Probability and Optimization*, édition Cambridge University Press, J. Gunawardena, 1996, à paraître.
- [123] M. CHILALI, P. GAHINET, «Robust pole placement in subregions of the complex plane», *IEEE-AC*, 1996.
- [124] G. COHEN, S. GAUBERT, J.P. QUADRAT, «Timed event graphs with multipliers and homogeneous Min-Plus system», *IEEE - AC*, à paraître.
- [125] P. COUSTAL, F. DELEBECQUE, R. NIKOUKHAH, «A New H_∞ Design Methodology for the Control of Flexible Structures: Application to a Sight System», *Int. J. Robust and Nonlinear Control* 5, 1995, p. 731–744.
- [126] S. GAUBERT, P. BUTKOVIČ, R.A. CUNINGHAME-GREEN, «Minimal (max,+) Realization of Convex Sequences», *SIAM Journal on Control and Optimization*, à paraître.
- [127] S. GAUBERT, A. GIUA, «Deterministic Weak-and-Marked Petri Net Languages are Regular», *IEEE-TAC*, 1996, à paraître.

- [128] S. GAUBERT, «On the Burnside Problem for Semigroups of Matrices in the (max,+) Algebra», *Semigroup Forum* 52, 1996, p. 271–292.
- [129] J.P. QUADRAT, MAX-PLUS WORKING GROUP, *Max-plus algebra and applications to system theory and optimal control*, Birkhauser, Zurich, 1995, p. 1502–1511.
- [130] B. LEVY, A. BENVENISTE, R. NIKOUKHAH, «High level primitives for recursive maximum likelihood estimation», *IEEE Transactions on Automatic Control* 41, 8, 1996.
- [131] D. VON WISSEL, R. NIKOUKHAH, S.L. CAMPBELL, F. DELEBECQUE, «The effect of computational delay in descriptor based trajectory tracking control», *Int. J. Control*, à paraître.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [132] C. ALLAL, S. ABDOU, P. DAVIET, M. PARENT, «Tactical and Technical Routing of Empty Vehicles in the PRAXITELE Project», in: *Proceedings of 4th IEEE Symposium on Control and Automation*, Crete, Greece, June 10-14th 1996.
- [133] C. ALLAL, M. GOURSAT, J.P. QUADRAT, «Dynamic Models For the Allocation and Routing of Empty Vehicles in the PRAXITELE Project», IFORS triennial Conference, Vancouver, July 1996.
- [134] G. BECKER, P. BENDOTTI, P. GAHINET, «Analysis and controller synthesis for a pressurized water reactor using linear parameter varying systems», in: *CDC*, Kobe, December 1996.
- [135] S. CAMPBELL, F. DELEBECQUE, R. NIKOUKHAH, «Pencil Algorithms and Observer Design», in: *Proc. 1996, IEEE International Conference on CACSD*, Dearborn, September 1996.
- [136] S. CAMPBELL, F. DELEBECQUE, D. VON WISSEL, «A mixed symbolic - numeric software environment», in: *Proc. 1996, IEEE International Conference on CACSD*, Dearborn, September 1996.
- [137] M. CHILALI, P. GAHINET, « H_∞ design with pole placement constraints», in: *IEEE Trans. Aut. Contr.*, Janvier 1996.
- [138] G. COHEN, S. GAUBERT, J.P. QUADRAT, «Kernels images and projections in dioids», in: *Proceedings of WODES'96*, IEE, Edinburgh, August 1996.
- [139] F. DELEBECQUE, C. GOMEZ, M. GOURSAT, «High-level data structures in CACSD Example: Programming with graphs in Scilab», in: *1996 IEEE International Symposium on CACSD, Dearborn, Michigan, USA*, September 14-18 1996.
- [140] F. DELEBECQUE, R. NIKOUKHAH, D. VON WISSEL, «Descriptor Predictive Control: Tracking Control for the Lean Angle of a Riderless Bicycle», in: *CESA*, Lille, 9-12 Juillet 1996.
- [141] F. DELEBECQUE, R. NIKOUKHAH, D. VON WISSEL, «Nonlinear Observer Design using Implicit System Descriptions», in: *CESA*, Lille, 9-12 Juillet 1996.
- [142] F. DUMONTET, C. ALLAL, M. PARENT, «Queuing and Optimization Models for Public Cars Transportation Systems and Applications in the PRAXITELE Project», in: *Proceedings of CESA'96 IMACS-IEEE/SMC Multiconference*, Lille, France, July 9-12th 1996.
- [143] S. GAUBERT, A. GIUA, «Petri Net Languages With Infinite Sets of Final Markings», in: *Proceedings of WODES'96*, IEE, Edinburgh, August 1996.
- [144] C. GOMEZ, M. GOURSAT, «Démonstration de Scilab et Metanet : calcul sur les graphes et les réseaux», in: *Journées du GDR Programmation, Orléans*, Novembre 20-22 1996.
- [145] R. NIKOUKHAH, S. STEER, «Scicos a dynamic system builder and simulator», in: *CACSD*, Dearborn, Michigan, USA, September 1996. Présenté aussi à la conférence l'IFIP "Optimisation based computer and modelling and design", Paris Juillet 96.
- [146] S. STEER, H. JREIJ, R. NIKOUKHAH, «Scilab/Scicos : une application à la régulation des aménagements hydrauliques fluviaux», in: *2AO 96*, Paris, Novembre 1996.

- [147] S. STEER, R. NIKOUKHAH, «Hybrid systems: modeling and simulation», in : *COSY : Mathematical Modelling of Complex System*, Lund, September 1996.
- [148] A. SULEM, «Dynamic Optimisation for a mixed Portfolio with transaction costs», in : *Numerical methods in Financial Mathematics*, Cambridge University Press, 1996.
- [149] D. VAN MIEN, H. JREIJ, J.P. QUADRAT, S. STEER, «Application of time delayed robust control to the regulation of hydraulic equipment», in : *35th CDC*, Kobe - Japan, 1996.
- [150] D. VON WISSEL, R. NIKOUKHAH, F. DELEBECQUE, S. CAMPBELL, «Nonlinear Observer Design using Index Two Descriptor Systems», in : *MTNS*, St. Louis, USA, 23-27 Juin 1996.

Cours polycopiés

- [151] J.P. QUADRAT, M. VIOT, *Introduction à la commande stochastique*, Ecole Polytechnique, Mars 1996.

Rapports de recherche et publications internes

- [152] M. AKIAN, «On the continuity of the Cramer transform», *Rapport de Recherche n°2841*, Inria, Rocquencourt, 1996.
- [153] H. JREIJ, S. STEER, «Détermination des filtres d'anticipation pour les aménagements hydroélectriques», *Rapport EDF/DER LNH n°HE43/95/071/A*, Janvier 1996.

Divers

- [154] M. AKIAN, M. TAKSAR, A. SULEM, «Ergodic Multidimensional Diffusion Dynamic Portfolio Selection model», rapport interne.
- [155] G. COHEN, S. GAUBERT, J.P. QUADRAT, «On aggregation coherency and reversability of event graphs», séminaire sur la Mécanique Statistique et les Grands Réseaux, Octobre 1996.
- [156] H. CRAPO, C. KLIMANN, «On ranks of subspaces», rapport interne.
- [157] F. DELEBECQUE, M. GOURSAT, «Faisabilité de la preuve en automatique. Étude d'un cas de freinage simplifié», rapport interne du programme GENIE, 1996.
- [158] R. NIKOUKHAH, «A new methodology for observer design and implementation», soumis.
- [159] R. NIKOUKHAH, S.L. CAMPBELL, F. DELEBECQUE, «Observer design for general linear time-invariant systems», soumis.

8 Abstract

The project Meta2 develops computer science systems and mathematical methods dedicated to automatic control: robust control, nonlinear control, stochastic control, discrete event systems, network simulation, optimization and detection. Applications to control of mechanical systems, regulation of water flow, optimization of transportation systems, performance evaluation and optimization of manufacturing systems and finance are studied. Dedicated systems are developed based mainly on a Matlab like system developed in the project called Scilab. Scilab is a free software distributed via anonymous ftp.