

# PRESENTATION DE L'AXE SYSTEMES DE COMMANDE - THEORIES ET METHODES

JEAN-JACQUES LOISEAU

*IRCCyN, UMR CNRS 6597, 44321 Nantes Cedex 03, France*

[Jean-Jacques.Loiseau@ircryn.ec-nantes.fr](mailto:Jean-Jacques.Loiseau@ircryn.ec-nantes.fr)

## Organisation et Groupes de Travail de l'axe

L'axe « Systèmes de Commande–Théories et Méthodes » est structuré autour de 8 groupes de travail :

- CPNL, Commande Prédictive Non Linéaire, animé par A. Chemori (LIRMM, Montpellier) et S. Olaru (SUPELEC, Gif sur Yvette),
- EDP, Equations aux Dérivées Partielles, animé par Y. Legorrec (Femto-ST, Besançon),
- Identification, animé par Francisco Carillo (ENIT, Tarbes), Marion Gilson Bagrel (CRAN, Nancy) et Guillaume Mercère(LAII, Poitiers),
- INCOS, Ingénierie de la commande et de la supervision des systèmes à événements discrets, animé par Pascal Berruet (Lab-STICC, Lorient), Jean-François Pétin (CRAN, Nancy)
- MOSAR, Méthodes et outils pour l'analyse et la synthèse en robustesse, animé par Edouard Laroche (LSIIT, Strasbourg) et Dimitri Peaucelle (LAAS, Toulouse),
- RdP, Réseaux de Petri, animé par P. Moreaux (LISTIC, Annecy) et T. Bourdeaud'huy (LAGIS, Lille),
- SAR, Systèmes à retards, animé par M. Dambrine (LAGIS, Lille) et O. Sename (LAG Grenoble)
- SDH, Systèmes dynamiques hybrides, animé par Jamal Daafouz (CRAN, Nancy) et H. Guéguen (Supélec, Rennes)
- UAV, Véhicules aériens autonomes, animé par Yasmına Bestaoui (IBISC, Evry), Mohamed Boutayeb (IUT Longwy) et Isabelle Fantoni-Coichot (Heudiasyc, Compiègne).

Ces groupes de travail représentent chacun de 100 à 400 chercheurs.

Quatre de ces groupes sont au cœur de synergies entre différents axes du GdR MACS ou inter-GdR, et ont un double rattachement. Les groupes RdP et SDH sont ainsi également rattachés à l'axe « Modélisation, Evaluation et Méthodes d'Optimisation », les groupes Identification et INCOS étant quant à eux rattachés à l'axe « Supervision, Identification et Maintenance ». Le groupe UAV, commun au GdR MACS et au GdR Robotique, est également rattaché à l'axe « Systèmes de Commande : Domaines Applicatifs et Technologiques ». Les échanges se font également à travers les nombreux chercheurs qui participent aux activités de plusieurs groupes de travail.

L'objectif général des groupes de travail de cet axe est le développement de connaissances nouvelles au niveau fondamental, dans les domaines de la théorie des systèmes, l'automatique, l'automatisation. On y retrouve les duos paradigmatiques, continu/discret, commande/observation, optimisation/estimation, système/signal, qui continuent à entretenir les dialectiques fructueuses qui fondent la discipline. On retrouve aussi les deux tendances qui sont soulignées dans le titre de l'axe, la première consiste à pousser la formalisation voire la mathématisation des concepts dans ces ultimes retranchements, et en même temps la seconde est de fonder les développements sur des problématiques réelles. Les travaux effectués suivent donc les deux tendances complémentaires. D'une part, ils partent de justifications technologiques venant des verrous et des problématiques actuelles, notamment l'utilisation de réseaux de communication, dans les systèmes commandés, la maîtrise des systèmes physiquement distribués, tels que les réseaux de transports, les systèmes biologiques, les systèmes manufacturiers, les systèmes mécaniques complexes, les systèmes de contrôle embarqués, et d'autre part ils vont vers les questions formelles sous-jacentes, maîtrise de la complexité, maîtrise des grands systèmes dynamiques, prise en compte des hétérogénéités.

## **Actions, activités, rayonnement et faits marquants**

La production issue des groupes de travail de l'axe est notable en termes de publications de haut niveau et d'animation de la communauté, au niveau national bien entendu mais aussi international. Nous récapitulons ici succinctement les actions les plus remarquables.

### ***Publications et numéros spéciaux***

- M. Alamir, D. Dumur, P. Boucher, P. Rodriguez, S. Oлару, *Commande Prédicative. Avancées et Perspectives*, Traité IC2, Editions Hermès, 2006.
- M. Alamir, *Stabilization of Nonlinear Systems Using Receding-Horizon Control Schemes: A Parametrized Approach for Fast Systems*, LNCIS vol. 339, Springer, 2006.
- D. Alazard et D. Arzelier, *Linear Matrix Inequalities in Control*, European Journal of control, Vol. 12, No. 1, 2006.
- D. Alazard et D. Arzelier, *Numéro spécial : La synthèse Multi-Objectifs*, Journal Européen des Systèmes Automatisés, Vol. 40, No. 9-10, 2006.
- J. Zaytoon, *Special issue on hybrid systems*, Nonlinear Analysis, Elsevier, 2006.
- J-J. Loiseau et J. Chiasson, *Applications in Time-Delay Systems*, LNCIS vol. 352, Springer, 2007.
- J-P. Richard et Divoux, *Systèmes commandés en réseaux*, Hermès IC2, 2007.
- W. Michiels et S.-I. Niculescu, *Stability and stabilization of time-delay systems: An eigenvalue-based approach*, SIAM: Philadelphia, *Advances in Design and Control*, SIAM Publications, 2007.
- Queinnec, S. Tarbouriech, G. Garcia et S.-I. Niculescu, *Biology and control theory: Current challenges*, LNCIS, vol. 357, Springer, 2007.
- J. Daafouz et H. Guéguen, *Numéro spécial sur les systèmes hybrides*, JESA, décembre 2007.
- H. Garnier, M. M'Saad et T. Poinot, *Numéro spécial Identification et Modélisation Expérimentale*, JESA, mars 2008.
- H. Garnier et L. Wang, *Identification of Continuous-time Models from Sampled Data*, Series : *Advances in Industrial Control*, Vol. 26, Springer-Verlag, London, 2008.

### ***Colloques et écoles d'été***

- JIME'2006, Deuxièmes Journées Identification et Modélisation Expérimentale, Poitiers, novembre 2006.
- IFAC ROCOND'06, IFAC Symposium on Robust Control Design, Toulouse, 5-7 juillet 2006.
- IFAC ACA'07, IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace, Toulouse, 25-29 juin 2007.
- IFAC TDS'07, IFAC Workshop on Time Delay Systems, Nantes, 17-19 septembre 2007.
- Workshop CNRS-NSF on Time-Delay Systems, Nantes, 19-20 septembre 2007.
- JDMACS'07: Ecole Conception de la commande de SED sûrs de fonctionnement
- Workshop 'Delays, feedback and interconnections: From simple structures to complex networks' organize par Silviu Niculescu en collaboration avec J. Cheong, à l' IFAC World Congress (Séoul, 2008).
- Workshop IFAC CDPS, Toulouse, juillet 2009.
- JDMACS'09: Ecole Commande prédictive: interaction, optimisation, commande

### ***Sessions invitées en conférences internationales***

- IFAC SYSID'06 : 3 sessions invitées sur l'identification de modèles à temps continu ont été organisées pour le 14<sup>th</sup> IFAC Symposium on System Identification, Newcastle, Australie, mars 2006.
- CESA'06 : 2 sessions (Discrete Event Systems and Supervisory and Monitoring, Reconfiguration for complex discrete event systems)

- IMACS'2005: Reconfiguration of flexible manufacturing systems
- IFAC ROCOND'06 : Robust control and observation of time-delay systems.
- IEEE Med'06 : Infinite dimensional control systems
- JAA'06 : Une journée consacrée aux systèmes à retard à l'école d'automne tunisienne d'automatique
- CIFA'06 : Observation des systèmes dynamiques hybrides
- CIFA'08 : 6 sessions (Réseaux de Petri et contraintes temporelles, Systèmes hybrides 1, Systèmes hybrides 2, Contrôle des EDP, Commande prédictive et estimation à horizon glissant, Analyse et Commande des Systèmes à Retards)
- IFAC WC'08 : Reachability calculus,
- INCOM'09 : Track Supervisory control of manufacturing systems
- DCDS'09 : Reconfiguration for Discrete Events Control

Par ailleurs, de nombreux membres des groupes de travail de l'axe 5 ont participé à des comités de programme de conférences internationales, et notamment en tant que président du comité d'organisation, ou du comité international de programme. Plusieurs participent aux Comités Techniques de l'IFAC : TC 2.2 Linear Control Systems et TC 1.3 Discrete Event and Hybrid Dynamic Systems

### ***Actions inter-GT et inter-GdR***

- Journée Enjeux de l'Automatique Embarquée, 26 octobre 2006, Ecole Nationale Supérieure de Cachan, Organisée par le groupe INCOS avec la participation des groupes RdP, SdH du GdR MACS et du GdR ASR.
- Journées communes à INCOS et RdP lors des journées du GdR MACS de La Rochelle.
- Journée thématique Delays and Robustness, commune à MOSAR et SAR, 18 mai 2006, Toulouse.
- Journées thématiques Commande Robustes en Robotique, communes à MOSAR et au GdR Robotique alors en formation, 9-10 novembre 2006,.
- Journées Reconfiguration et Diagnostic, en commun entre RDP et INCOS , 16 mars 2007.
- Journées thématiques De la Robustesse dans les EDP, communes à MOSAR et EDP, 22-23 mars 2007, ENST Paris.
- Réunion commune à MOSAR et Identification, 26 Juin 2008, Toulouse,.

Le GT UAV est un groupe de travail commun au GdR MACS et au GdR Robotique. Les deux premières réunions du GT UAV, les 9 novembre 2007 et 20 mars 2008 à l'ENSAM, Paris, ont été organisées conjointement avec le GT4 (Méthodologies pour la robotique) du GdR Robotique. La troisième réunion, le 2 octobre 2008, également à l'ENSAM, Paris, était organisée en commun avec le GT2 (véhicules autonomes (terre, air, mer)).

### **Bilan et Perspectives**

En matière de recherche théorique, il y a deux vérités qui sont souvent annoncées comme limitant les tentatives de prospectives. La première est que les idées avancent assez lentement, et la seconde est qu'il est bien difficile de savoir d'où viendront les idées nouvelles qui vont permettre de surmonter les verrous technologiques. Malgré tout, on peut constater que les verrous et problématiques actuelles cités en

introduction, notamment l'utilisation de réseaux de communication, dans les systèmes commandés, la maîtrise des systèmes physiquement distribués, tels que les réseaux de transports, les systèmes biologiques, les systèmes manufacturiers, les systèmes mécaniques complexes, les systèmes de contrôle embarqués, maîtrise de la complexité, maîtrise des grands systèmes dynamiques, prise en compte des hétérogénéités, sont au cœur des recherches actuelles en automatique, pour la plupart d'entre eux depuis plusieurs années et pour un certain temps encore. Il est remarquable de constater que la problématique de l'utilisation de réseaux dans les systèmes commandés, pour ne prendre qu'un exemple, soit au cœur des activités de tous les groupes de travail de l'axe. Les travaux issus des groupes sur les systèmes à retards (SAR), les systèmes hybrides (SdH), les réseaux de Petri (RdP), les EDP, sont en grande partie motivés par, et pour beaucoup directement orientés vers, cette question technologique. Les travaux des groupes INCOS (supervision), Identification, commande robuste (MOSAR), quoique définis en termes de familles de problèmes bien spécifiques, sont eux-mêmes largement orientés depuis quelques années vers l'utilisation de réseaux de communications. A partir de cette constatation, un premier objectif a été de multiplier les interactions entre Groupes de Travail, d'abord au sein de l'axe en vue de confronter les modèles et les méthodes, et de chercher à résoudre les problèmes des uns avec les solutions des autres, et ensuite avec les groupes relevant des différents axes du GdR MACS. Un deuxième objectif a été l'harmonisation de l'efficacité de l'animation des différents groupes de travail. D'un point de vue plus pragmatique, on peut constater que l'impact des groupes de travail historiques, notamment MOSAR, SAR et SDH reste tout à fait notable et visible au niveau international, tant en termes de publications de haut niveau qu'en termes d'animation et d'organisation. D'autres groupes de travail, INCOS, EDP, RDP, ont été récemment restructurés, et sont en phase ascendante. Il y a encore un large potentiel à développer au niveau de l'utilisation des méthodes de l'automatique avec les groupes relevant des axes 1, 2 et 3 et de la productique, dans la direction générale de l'interaction entre optimisation et contrôle, et de la prise en compte des différents niveaux de conception et de pilotage d'installations et de processus complexes. L'automatique est par nature interdisciplinaire, et les champs d'application sont nombreux. Dans tous les domaines, la tendance est à la complexification, les processus sont distribués et interconnectés, les systèmes de contrôle sont également des architectures plus complexes, réparties, hiérarchisées, et les performances qu'on en attend sont à la fois plus fines et soumises à de plus nombreuses contraintes. Le domaine des véhicules autonomes est typique de cette tendance, les actions de plus en plus nombreuses le concernant ont amené naturellement la création du groupe de travail UAV, commun aux GdR MACS et Robotique. L'automatique reste un domaine très dynamique et le progrès des idées en matière de recherche théorique y reste très étroitement lié au progrès technologique, chacun étant à la fois source et fruit de l'autre.

# PRESENTATION DU GROUPE DE TRAVAIL

## CPNL : COMMANDE PREDICTIVE NON LINEAIRE

Ahmed CHEMORI<sup>1</sup> , Sorin OLARU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> LIRMM – UMR 5506, 161, rue Ada, 34392 Montpellier CEDEX 05, France  
Tel : (33) 4 67 41 85 62, Fax : (33) 4 67 41 85 00, email : chemori@lirmm.fr

<sup>2</sup> SUPELEC 3, rue Joliot-Curie, 91192, GIF SUR YVETTE FRANCE  
Tel : (33) 1 69 85 13 76, Fax : (33) 1 69 85 13 89, email : Sorin.Olaru@supelec.fr

<http://www.lirmm.fr/GT-Predictive/>

L'objectif de ce document est de présenter un bilan du groupe de travail "*Commande prédictive non linéaire*" : GT-CPNL du GDR-MACS dont la création remonte à 2003. Il compte aujourd'hui 246 inscrits avec une présence moyenne aux réunions d'une vingtaine de personnes.

Un changement a eu lieu au niveau des animateurs en Septembre 2007 quand Ahmed CHEMORI (CR-CNRS au LIRMM) et Sorin OLARU (enseignant-chercheur à SUPELEC) ont pris le relais de Mazen ALAMIR (DR-CNRS au GIPSA-LAB), Nicolas MARCHAND (CR-CNRS au GIPSA-LAB) et Philippe POIGNET (Professeur à l'université Montpellier 2).

Le présent rapport couvre donc la période Janvier 2006 - Janvier 2009 durant laquelle cinq réunions ont été organisées :

- 7 juin 2006, à l'ENSAM (Paris), cinq exposés scientifiques.
- 15 juin 2007, à l'ENSAM (Paris), six exposés scientifiques.
- Le 31 janvier 2008 à l'ENSAM (Paris), quatre exposés scientifiques.
- Le 05 juin 2008 à l'ENSAM (Paris), cinq exposés scientifiques.
- Le 22 janvier 2009 à l'GIPSA-Lab (Grenoble), cinq exposés scientifiques

Une sixième réunion est en cours de préparation pour :

- Le 7 juin 2009 à l'ENSAM (Paris), avec cinq exposés confirmés dans le program de la journée

Un workshop IFAC a eu lieu à Grenoble en 2006 : IFAC Workshop on Nonlinear Model Predictive Control for Fast Systems, [http://www.lag.ensieg.inpg.fr/NMPC\\_FS06/](http://www.lag.ensieg.inpg.fr/NMPC_FS06/)

Le groupe a organisé une session invitée sur la thématique « Commande prédictive et estimation à horizon glissant » lors de la Conférence Internationale Francophone d'Automatique CIFA'08 qui en lieu en septembre 2008 à Bucarest avec les contributions suivantes :

- *Commande prédictive des systèmes dont l'entrée est affectée par un retard variable*, H. Benlaoukli, S. Olaru, S. Niculescu
- *Commande prédictive à base de modèle (MPC) pour le trafic urbain bi-modal*, N. Bhourri, D. Touazi
- *Commande prédictive à base d'état : implémentation sur le circuit d'air du moteur diesel*, K. Layerle, N. Langlois, H. Chafouk
- *Une nouvelle stratégie de commande prédictive des systèmes non linéaires à dynamiques rapides*, H. Ben Nasr, F. M'Sahli
- *NCGPC sans contraintes et placement de pôles avec extension dynamique: une étude comparative appliquée au moteur diesel*, M. Dabo, N. Langlois, H. Chafouk

Les membres du groupe de travail CPNL ont proposé un module de formation doctorale qui s'intitule « **Commande prédictive : interaction optimisation – commande** », dans le cadre de l'école des JDMCAS 2009 à Angers.

## Description du champ thématique du groupe

Les travaux concernent la méthodologie de synthèse de commande prédictive (à base de modèle) dite aussi commande optimale à horizon fuyant. Notre groupe s'intéresse particulièrement à l'application de cette méthodologie de commande pour les systèmes non linéaires.

La stratégie de commande prédictive non linéaire présente les avantages suivants :

- L'indépendance vis-à-vis de la structure des équations dynamiques décrivant le système.
- La possibilité de prendre en compte d'une façon simple et naturelle les contraintes sur la commande aussi bien que sur l'état.
- La possibilité de prendre en compte des compromis entre des objectifs partiellement contradictoires à travers un critère d'optimisation.
- La robustesse vis-à-vis d'incertitudes et de perturbations

Grâce à ces nombreux avantages, cette technique de synthèse de lois de commande a pris et continue de prendre une place importante au sein de la communauté scientifique nationale et internationale. C'est ainsi qu'avec l'augmentation des capacités de calcul temps réel, la commande prédictive à base de modèle (MPC) et l'estimation à horizon glissant (MHE) sont, de nos jours, appliquées dans une large gamme de systèmes dynamiques et notamment les systèmes rapides.

## Objectifs scientifiques du groupe

Le groupe poursuit actuellement les objectifs qui ont motivés sa création en 2003, à savoir :

- Renforcer la visibilité de la recherche française (théorique et/ou appliquée) dans cette thématique
- Faire rencontrer les acteurs se trouvant pour diverses raisons dans le champ de la thématique, que ce soit en tant que théoriciens ou praticiens ayant affaire à la commande prédictive pour résoudre des problèmes concrets.

Notre groupe de travail compte aujourd'hui 246 inscrits (par rapport à 200 en septembre 2007). Son but est d'animer, de valoriser et de transférer la méthodologie prédictive au sein de la communauté automatique nationale. En d'autres termes, il s'agit de partager des expériences accumulées, dans des domaines aussi divers que *la robotique*, *le génie des procédés* ou *l'aéronautique* et de montrer à travers des exemples variés et concrets les potentialités de l'approche par horizon-glissant. Une importance particulière est accordée aux exemples mettant en œuvre des systèmes à dynamiques rapides et fortement contraintes.

## Fonctionnement du groupe

Le fonctionnement de notre groupe de travail s'articule autour des activités suivantes :

- **Organisation des réunions scientifiques :** durant lesquelles des exposés et des séminaires techniques sur des travaux de recherche relevant de la thématique du groupe sont présentés. Depuis le changement des animateurs en septembre 2007, trois réunions ont été organisées, une quatrième réunion est prévue en juin 2009.
- **Organisation d'une session invitée** sur la commande et l'estimation à horizon glissant dans la Conférence Internationale Francophone d'Automatique (CIFA'2008 : <http://cifa2008.ec-lille.fr/>)
- **Proposition d'une session invitée** à 8th IFAC Workshop on Time-delay Systems (IFAC – TDS'08).
- **Organisation d'un module de formation Doctorale JDMACS.**

Le site web du groupe est : <http://www.lirmm.fr/GT-Predictive/>

## Liste des exposés scientifiques

### Réunion du 7 juin 2006 à Paris

- Sur l'asservissement visuel prédictif, par Mickael Sauvee, Philippe Poignet, Etienne Dombre (LIRMM, Montpellier)
- Comportement inattendus en régime stationnaire sous la commande prédictive contrainte, par Guy Bornard, Nicolas Couenne, Joël Chebassier (Gipsa-Lab, Grenoble – IFP, Lyon)
- Commande prédictive à structure variable avec observateur à grand gain pour les procédés chimiques, par Malik Sekher, Mohammed M'Saad, Mondher Farza (Control Group, GREYC, ENSICAEN, Caen)
- Stabilisation d'un PVTOL à déphasage non minimal par la commande prédictive non linéaire, par Ahmed CHEMORI, Nicolas MARCHAND (Gipsa-Lab-Grenoble)
- Nouvelle formulation contractive pour la stabilisation des systèmes non linéaires rapides, par Mazen Alamir (Gipsa-Lab-Grenoble)

### Réunion du 15 juin 2007 à Paris

- Commande prédictive non linéaire de la culture fed-batch de la bactérie E. Coli, par G. Hafidi (SUPELEC, Gif sur Yvette)
- Commande prédictive non linéaire et commande sans mesure de vitesse, par H. Piet-Lahanier (Onera, Châtillon)
- Commande prédictive en lyophilisation de produits pharmaceutiques, par N. Daraoui, P. Dufour, H. Hammouri (LAGEP-Lyon)
- Etude de stratégies de commande prédictive pour systèmes couplés thermique Electrique, par Rachid Amari (IFP-Lyon), Mazen Alamir (Gipsa-lab, Grenoble), Paolino Tona (IFP-Lyon)
- Optimisation pa colonie de fourmis: principes, extensions et perspectives pour L'Automatique, par Guillaume Sandou (SUPELEC, Gif-sur-Yvette)
- Robust 'Multi-model' Predictive Control using LMIs, par Paola Falugi, Sorin Olaru, Didier Dumur (SUPELEC, Gif-sur-Yvette)
- Optimisation pa colonie de fourmis: principes, extensions et perspectives pour L'Automatique, par Guillaume Sandou (SUPELEC, Gif-sur-Yvette)

### Réunion du 31 janvier 2008 à Paris

- Tube Model Predictive Control Using Invariance and Homothety, par Sasa Rakovic (Automatic Control Laboratory, IFA, ETHZ)
- Synthèse de contrôleurs prédictifs à base d'état pour la commande des systèmes MIMO discrets à non-minimum de phase, par Khaoula Nagoudi-Layerle et Nicolas Langlois (IRSEEM, Rouen)
- Off-line robustification of multivariable model predictive control, par Cristina Stoica, Pedro Rodriguez et Didier Dumur (SUPELEC-Gif-Sur-Yvette)
- Commande prédictive rapide pour la stabilisation de l'avion à décollage vertical et de l'hélicoptère à quatre rotors, par Nicolas Marchand (GIPSA-LAB - Grenoble)

### Réunion du 5 juin 2008 à Paris

- A prototype for on-line monitoring and optimization of energy performance for renewable energy building, using MPC, par Gregory Francois (Laboratoire ELIAUS, Université de Perpignan)
- Commande prédictive bilatérale robuste pour les systèmes de téléopération via le réseau Internet, par Tahar Slama (ENSI - Bourges)
- From model-based open loop optimization strategies to feedback based optimization via NCO tracking, par Gregory Francois (Laboratoire ELIAUS, Université de Perpignan)
- NCGPC avec extension dynamique appliquée au moteur Diesel, par Marcelin Dabo, Nicolas Langlois et Houcine Chafouk (IRSEEM, Rouen)
- Ensembles invariants et commande tolérante aux défauts pour systèmes multi-capteurs, Sorin Olaru (Département Automatique, SUPELEC)

### Réunion du 21 janvier 2009 à Grenoble

- Asymptotic Tracking applied to the Control of a Turbocharged Diesel Engine, par Marcelin Dabo, Nicolas Langlois (IRSEEM, Rouen)
- A flatness-based iterative method for reference trajectory generation in constrained NMPC, par Fajar Suryawan (Univ. of Newcastle Australia)

- Robustification hors-ligne des lois de commande prédictive, Comparaison de deux techniques, par Pedro Rodriguez (Departement d'automatique SUPELEC)
- Receding horizon climate control in metal mine extraction rooms, par Emmanuel Witrant (GIPSA-LAB - Grenoble)
- Commande prédictive non lineaire d'un moteur diesel : formulation et validation expérimentale, par André Murilo et Mazen Alamir (GIPSA-LAB - Grenoble)

## Ouvrages ou chapitres d'ouvrage

Traité IC2 "Commande Prédictive. Avancées et perspectives", coordonné par P. Boucher et D. Dumur, avec des contributions de chapitres de membres du groupe : M. Alamir, D. Dumur, P. Boucher, P. Rodriguez, S. Oлару, Editions Hermès, (2006)

N. Marchand, A. Chemori and G. Poulin. Approches prédictives pour la stabilisation en temps discret de l'avion planaire à décollage vertical. Dans "Modélisation et Commande embarquée d'objets volants miniatures", édition Hermès (2007)

Alamir, M. Stabilization of Nonlinear Systems Using Receding-Horizon Control Schemes: A Parametrized Approach for Fast Systems. Lecture Notes in Control and Information Sciences, Springer, London, ISBN 1-84628-470-8 (2006)

Alamir, M. Commande Prédictive Non Linéaire. Dans "La Commande Prédictive", édition Hermès. Coordinateur: D. Dumur. (2006)

## Conférences invitées

S. Oлару, D. Dumur. Explicit constrained predictive control using a polyhedral approach. 6th Brazilian Conference on Dynamics, Control and Their Applications (DINCON 2007), 21-25 Mai 2007.

S. Oлару, D. Dumur. Predictive control for hybrid systems. How far the polyhedral pre-computations might go? International Conference of Hybrid Systems and Applications, Lafayette, USA, 22-26 May 2006.

S. Oлару, P. Rodriguez. Robustification of Explicit Predictive Control Laws (I). Invited session on multiparametric programming and invariant sets, 45th IEEE Conference on Decision and Control, San Diego, USA, Déc 2006.

Alamir, M. A Low Dimensional Contractive NMPC Scheme for Nonlinear Systems Stabilization: Theoretical Framework and Numerical Investigation on Relatively Fast Systems. In R. Findeisen, F. Allgower, L. Biegler (eds.). Assesment and future directions in Nonlinear Model Predictive Control. Lecture Notes in Control and Information Sciences, Springer-Verlag, (2006)

Alamir, M.; Boyer, F. Re-injecting the Structure in NMPC Schemes - Application to the Constrained Stabilization of a Snakeboard. In Fast Motions in BioMechanics and Robotics, Optimization and Feedback Control. Lecture Notes in Control and Information Sciences, Springer-Verlag, (2006)

Alamir, M. The parameterized approach for fast NMPC. Prior to CDC workshop "Model predictive control for fast nonlinear systems: existing approaches, challenges, and applications"  
<http://www.ist.uni-stuttgart.de/~findeise/fastnmpccdc06/>

## Bilan

Depuis 2008, le groupe a fonctionné avec un bon dynamisme. Le contenu scientifique des présentations est varié, dans la mesure où les problématiques abordées concernent différents aspects de la commande prédictive (robustesse, stabilité, optimisation, etc) aussi bien que les applications (réacteurs chimiques, PVTOL, moteur diesel, robots télé-opérés, technique du bâtiment etc).

Dans le futur, le groupe souhaite organiser des réunions en commun avec d'autres groupes de travail tels que les GT SDH (Systèmes Dynamiques Hybrides) et MOSAR.

Durant ces dernières réunions, des chercheurs provenant des laboratoires étrangers ont participé avec des présentations scientifiques, mais l'absence totale de soutien financier nous semble certainement un frein à l'invitation davantage des personnalités étrangères et/ou industrielles pour des présentations « tutoriel » qui pourraient donner une dimension supplémentaire à notre groupe.

# PRESENTATION DU GROUPE DE TRAVAIL

## EDP – EQUATIONS AUX DERIVEES PARTIELLES

Yann Le Gorrec

Femto-FT, Besançon  
yann.le.gorrec@ens2m.fr

[http://www.bourges.univ-orleans.fr/rech/GT\\_EDP/](http://www.bourges.univ-orleans.fr/rech/GT_EDP/)

L'évolution actuelle des technologies et l'utilisation de nouveaux matériaux induit une complexité croissante des modèles à traiter en théorie des systèmes. Un des aspects de cette complexité est la modélisation à l'aide d'équations aux dérivées partielles (EDP), liée à l'aspect distribué des phénomènes tels que la propagation d'onde ou la diffusion. Dans ces cas l'équation dynamique lie le domaine temporel au domaine spatial. L'aspect distribué des variables utilisées pour la modélisation induit une infinité de variables d'état et les outils traditionnellement utilisés en automatique sont inutilisables directement. Bien qu'apparaissant dans de nombreux domaines de la physique (électromagnétisme, mécanique, optique, génie des procédés) le traitement de ce type de système nécessite des concepts mathématiques complexes (associés à la dimension infinie) pour le traitement direct des équations ou pour leur approximation (discrétisation-réduction), confinant souvent l'étude de ce type de phénomènes à la communauté mathématicienne.

Dans ce groupe de travail on adopte une approche « système » pour la modélisation, l'analyse et la commande des procédés dynamiques régis par des EDP. L'objectif est de regrouper et de croiser les expériences autour des systèmes de dimension infinie, en mélangeant des chercheurs de communautés différentes, chacune d'entre elle tirant bénéfice de l'expérience de l'autre. En particulier la communauté de l'ingénierie trouve des réponses à ses problèmes théoriques auprès de la communauté mathématicienne. D'autre part cette dernière s'enrichit de la physique et des applications réalistes pour améliorer ses développements théoriques et leur applicabilité. Une des particularités des activités du groupe réside dans l'aspect ouvert (entrées-sorties) des systèmes considérés contrairement à beaucoup de cas traités dans la littérature en physique ou en électromagnétisme. Enfin, il est courant que les systèmes régis par des EDP soient approximés par des systèmes de dimension finie pour leur traitement à base de méthodes issues de l'automatique classique. C'est un des thèmes abordés dans le cadre de ce groupe de travail. On s'intéresse en particulier à l'influence du choix de la méthode de discrétisation sur la dynamique du système considéré.

D'un point de vue scientifique, le traitement des systèmes de dimension infinie dépend du niveau de complexité du système initial et de la généralité des résultats désirés.

- Dans le cas non linéaire, peu de résultats généraux existent. Les travaux actuels portent sur l'analyse des propriétés des solutions grâce aux approches géométriques mais peu de résultats permettent d'évaluer l'existence théorique de ces dernières. On peut noter tout de même les travaux autour des systèmes de lois de conservation à l'aide des invariants de Riemann, qui permettent à partir de la méthode des caractéristiques de conclure à l'existence et la stabilité d'une trajectoire dans un voisinage donné. Ce type d'approche est développé autour des systèmes de canaux d'irrigation par les laboratoires de mathématique de l'Université d'Orsay et l'Université de Versailles Saint Quentin, le LAGEP (Université de Lyon), le LAAS (Toulouse), l'Université de Namur. L'analyse fonctionnelle est aussi utilisée pour l'analyse d'existence et de propriétés (commandabilité) des solutions d'équations aux dérivées partielles non linéaires particulières (Korteweg-de Vries par exemple). En parallèle à ces

travaux, plusieurs équipes s'intéressent à la modélisation à proprement parler des systèmes ouverts régis par des EDP (linéaires ou non linéaires). On notera les approches basées sur la diffusivité développées à l'ENST (Paris), à l'ISAE (Toulouse), au LAAS (Toulouse) ainsi que la modélisation à l'aide de systèmes fonctionnels à l'INRIA Sophia Antipolis. On notera aussi le développement des approches Hamiltoniennes à port pour la modélisation des systèmes de dimension infinie ouverts dans le cas linéaire et non linéaire, au LAGEP (Lyon), FEMTO-ST/AS2M (Besançon) et l'Université de Twente (Pays Bas). Ces méthodes sont aussi utilisées pour la réduction des systèmes EDP afin de conserver certains invariants.

- Dans le cas linéaire la théorie des semigroupes permet l'obtention de résultats forts au niveau de l'analyse et la commande des systèmes régis par des EDP. L'accent est mis en particulier sur les problèmes de contrôle frontière dont la difficulté réside dans le fait de l'opérateur d'entrée est non borné. Ce formalisme, dit des systèmes abstraits, est le formalisme qui se rapproche le plus du formalisme d'état utilisé en dimension finie. Plusieurs laboratoires travaillent sur des problèmes de contrôle frontière à base de semigroupes : le LAGEP, l'INRIA-Institut Elie Cartan, le LAAS, le CASE Mines de Paris, le MAPMO, l'Université de Compiègne. De nombreux résultats novateurs sur les plans théoriques et applicatifs ont été mis en évidence au cours de ces quatre dernières années. En particulier l'approche Hamiltonienne à ports a permis d'établir des critères de stabilité pour une classe importante de systèmes linéaires de dimension infinie en dimension 1, couvrant les systèmes d'équations d'ondes, les poutres, les systèmes de diffusion etc ... Un autre axe de recherche a porté sur la modélisation et la commande de systèmes fractionnaires à retard et/ou de type neutre. Ces travaux ont été développés en particulier par l'INRIA Rocquencourt, l'IRCCyN (Nantes), l'Université de Leeds.

D'un point de vue applicatif, les approches mentionnées précédemment ont été appliquées sur de nombreux systèmes réels tels que des systèmes optiques, des canaux d'irrigation, des procédés d'adsorption, des réacteur tubulaires, des instruments à vent, des systèmes mécaniques de convoyages de fluides, des systèmes de surveillance de la houle marine, des systèmes quantiques et des systèmes électromagnétiques.

## **Organisation, Animation et mode de fonctionnement**

Le Groupe de Travail EDP a connu une baisse relative d'activité fin 2006 et a changé d'animateur en Janvier 2007. Depuis le rythme des réunions est de deux par an, habituellement organisées sur deux jours. La première réunion a été organisée conjointement avec le groupe de travail MOSAR afin d'accentuer les relations entre chercheurs en théorie des systèmes et mathématiciens. Les laboratoires d'accueil ont été l'ENST (Paris), le LAGEP (Lyon) et le LAAS (Toulouse). Chaque réunion a concerné environ une trentaine de participants, sauf la première réunion conjointe qui par son aspect pluridisciplinaire et sa localisation sur Paris a réuni un auditoire plus conséquent. Les exposés sont en grande majorité issus de sollicitations de l'animateur du groupe mais les propositions spontanées commencent à voir le jour. Un effort particulier est mis sur la présentation de doctorants afin de promouvoir leurs travaux de thèse et de leur permettre de se former à ce type d'exercice. En 2008 il nous a été possible d'inviter Hans Zwart de l'Université de Twente (Pays Bas), auteur d'un ouvrage de référence dans le domaine et qui a donné deux exposés de 45 minutes sur les problèmes de contrôle frontière. Ces exposés ont été particulièrement appréciés et M Zwart se tient informé des activités et des interventions au sein du groupe. Nous prévoyons d'inviter prochainement Mr Joseph Winkin de l'Université de Namur pour un exposé sur les approches spectrales. Une session spéciale à CIFA 2008 a été organisée au sein du groupe de travail. Un ouvrage collectif sur la commande des systèmes à paramètres distribués (de type Science pour l'Ingénieur) est en cours de réflexion. Enfin le groupe de travail participe activement à l'organisation et au comité international de programme du Workshop IFAC CDPS qui se déroulera à Toulouse en juillet 2009.

### ***Laboratoires participant (actifs)***

- *ENST, CNRS UMR 5141 Paris*

- *INRIA et Institut Elie Cartan, Nancy*
- *Laboratoire de Mathématiques, Université de Paris Sud, Orsay*
- *Equipe de mathématiques Appliquées, Université de Versailles Saint Quentin*
- *MIP UPS Toulouse,*
- *LAAS CNRS, Toulouse*
- *LAGEP Lyon*
- *Université de Compiègne*
- *INRIA, Sophia Antipolis*
- *Centre Automatique et Systèmes, Ecole des Mines de Paris*
- *INRIA Rocquencourt*
- *MAPMO Uni d'Orléans*
- *GIPSA-Lab Grenoble*
- *IRCAM, TelecomParisTech, Paris*
- *Univeristé de Twente, Enschede, Pays bas*

### ***Programme des journées et réunions organisées par le GT depuis 2006***

#### *Réunion Jeudi 29 juin 2006, LAGEP-Lyon :*

- Denis Jacquet (Gipsa-Lab, Grenoble), "Commande des lois de conservations : application à la gestion du trafic péri-urbain"
- Yann Legorrec (LAGEP, Lyon 1), "Dirac structures and boundary control systems"
- Emmanuel Witrant (CEA Cararache), "Un modèle simplifié de la diffusion de flux dans les plasmas de Tokamak"
- Cheng-Zhong Xu (LAGEP, Lyon 1), "Stabilisation de systèmes de vibration en dimension infinie"

#### *Réunion 22-23 mars 2007, ENST-Paris :*

##### *Jeudi 22 mars*

- Denis Matignon (ENST, CNRS UMR 5141, Paris), "Réalisation de systèmes adaptés à l'étude de la stabilité de certaines EDP : exemples et questions ouvertes" (article complet)
- Martin GUGAT (Institut de Mathématiques Appliquées, Université de Erlangen, Allemagne, Mario SIGALLOTI (INRIA et Institut Elie Cartan, Nancy) et Marius TUCSNAK (Institut Elie Cartan, Nancy), "Sur l'influence d'un feedback en position sur la robustesse du contrôle frontière d'une corde"
- Emmanuelle Crépeau (Equipe de Mathématiques Appliquées, Université de Versailles Saint Quentin), Eduardo Cerpa, Jean-Michel Coron (Laboratoire de Mathématique, Université Paris Sud, Orsay), "Contrôlabilité exacte de l'équation de Korteweg-de Vries non linéaire."
- Sheetal Dharmatti, Jean-Pierre Raymond (MIP-UPS, Toulouse), "H\_infinity Feedback Boundary Stabilization of the Two Dimensional Navier-Stokes Equations"
- Christophe Prieur (LAAS-CNRS, Toulouse), Georges Bastin (Univ. catholique de Louvain-la-Neuve, Belgique), Joseph Winkin (Univ. Namur, Belgique), et Valérie Dos Santos (Univ. Lyon I), "Contrôle frontière d'un système non-homogène d'équations de lois de conservation : aspects théoriques, numériques et expérimentaux"
- Céline Casenave, Gérard Montseny (LAAS-CNRS), "Formulation diffusive de certains problèmes dynamiques"

##### *Vendredi 23 mars*

- Stephane Mottelet, (Université de Compiègne), "Stabilisation d'un système perturbé par un couplage fluide-structure"
- Alban Quadrat (INRIA, Sophia-Antipolis), "Factorisation et décomposition des systèmes linéaires fonctionnels"
- Pierre Rouchon, (Centre Automatique et Systèmes, Ecole des Mines de Paris), "Contrôlabilité des systèmes quantiques de type spin-ressort"
- Matthew Peet (INRIA, Rocquencourt), "On the construction of positive quadratic forms using semidefinite programming"
- Catherine Bonnet (INRIA, Rocquencourt), Jonathan R. Partington (Université de Leeds, UK), "Stabilisation H\_infinie de systèmes fractionnaires à retards de type neutre"

#### *Réunion Jeudi 17-18 janvier 2008, LAGEP :*

##### *Jeudi 17 Janvier*

- Bernhard Maschke (LAGEP, Lyon 1) "Systèmes Hamiltoniens à port de dimension infinie"

- Silvère Bonnabel, Pierre Rouchon (Centre Automatique et Systèmes, École des Mines de Paris), "Observateurs asymptotiques invariants pour des EDP (nudging invariant)"
- Mario Sigalotti (INRIA, Institut Elie Cartan), "Contrôlabilité de l'équation de Schrödinger"

#### Vendredi 18 Janvier

- Yann Le Gorrec (LAGEP, Lyon 1), "Approche géométrique pour le contrôle frontière"
- Emmanuel Trélat (MAPMO, Univ Orléans), "Analyse numérique des équations aux dérivées partielles contrôlées"
- Christophe Prieur (LAAS-CNRS, Toulouse), "Commande robuste en optique adaptative"
- Alban Quadrat (INRIA, Sophia Antipolis), "Stabilisation des systèmes linéaires de dimension infinie à l'aide d'une approche moderne"
- Françoise Couenne (LAGEP, CNRS), "Réduction des systèmes EDP par une approche structurée"
- Gildas Besançon (GIPSA-lab / INPG (ENSIEG)), "Une méthodologie de commande d'EDP basée sur approximation par retard : le cas d'un canal d'irrigation"

#### Réunion Jeudi 12-13 juin 2008, LAAS Toulouse:

##### Jeudi 12 Juin

- Bogdan Robu (LAAS, Toulouse), "Réduction active de vibrations d'un système fluide-structure"
- Marianne Chapouly (Univ. Paris XI), "Sur la contrôlabilité d'une équation de Korteweg-de Vries non linéaire"
- Remi Mignot (IRCAM & TelecomParistech, Paris), "A propos de l'apparition naturelle d'une coupure pour des systèmes fractionnaires : un processus mathématique limite reposant sur des bases physiques"
- Matthiew Peet (INRIA, France), "SOS Methods for Delay-Dependent Stability of Neutral Differential Systems"

##### Vendredi 13 Juin

- Brigitte d'Andréa-Novet, (Ecole des Mines, Paris), "Contrôle frontière d'équations hyperboliques : le cas des canaux d'irrigation et des instruments à vent"
- Hans Zwart (Univ Twente, The Netherlands), "Well-posedness and stability of hyperbolic p.d.e's "(1)
- Hans Zwart (Univ Twente, The Netherlands), "Well-posedness and stability of hyperbolic p.d.e's "(2)
- Mazyar Mirrahimi (INRIA, Rocquencourt), "On the stabilization of bilinear Schrödinger equations"
- Judith Vancostenoble (MIP, Toulouse), "Estimations de Carleman et nulle contrôlabilité pour des problèmes paraboliques dans quelques situations non couvertes par la théorie classique"

#### Réunion Jeudi 5 février 2009, LAGEP, Lyon :

- Valerie Dos Santos (LAGEP, Lyon 1), "Formulation Hamiltonienne pour la stabilisation de systèmes de lois de conservation non linéaires de dimension infinie d'ordre 2"
- Olivier Lepreux (IFP, CAS MINES ParisTech), "Modélisation et contrôle d'un système DOC (Diesel oxidation catalyst) pour véhicule automobile"
- Boussad Hamroun (LCIS, ESISAR, Valence) : "Approche Hamiltonienne à Ports pour la Modélisation, la Réduction et la Commande des Equations de Saint-Venant."
- Manuel Collet (FEMTO-ST/Département Mécanique Appliquée, Besançon), "New prospects in Implementing distributed control strategies for mechanical structures optimization"
- Karine Beauchard, (CMLA, ENS Cachan), "Problèmes de contrôle en électromagnétisme"
- Michel Lenczner (FEMTO-ST, Université de Belfort Montbeliard), "Modélisation à deux échelles et approximations semi-décentralisées pour des problèmes gouvernés par des équations aux dérivées partielles"
- Redha Moulla (LAGEP, Lyon 1), "Modélisation Géométrique de Discrétisation pour les Systèmes Dynamiques Ouverts"

## **Evolution du GT, Projets, Perspectives**

L'objectif est d'accroître la dynamique du groupe et des synergies entre les laboratoires français travaillant sur le sujet. Au niveau du fonctionnement du groupe compte poursuivre le rythme de deux réunions par an en intercalant de manière plus ponctuelle un événement de type école thématique afin d'ouvrir le groupe à un public plus diversifié. Le site web du GT a été modifié et possèdera dorénavant une page dédiée aux activités nationales et internationales associées à l'automatique pour les systèmes de dimension infinie (propositions de thèses, écoles, conférences, appels à projets, sessions spéciales etc ...). L'objectif est de promouvoir les activités du groupe au niveau international par l'organisation de sessions invitées lors de conférences ou workshop IEEE et IFAC. Enfin une réflexion sur l'opportunité de déposer des projets de recherche communs de type ANR au sein du groupe a été engagée.

## PRESENTATION DU GROUPE DE TRAVAIL

### IDENTIFICATION

Francisco Carrillo<sup>1</sup>, Marion Gilson Bagrel<sup>2</sup> et Guillaume Mercère<sup>3</sup>

<sup>1</sup>LGP, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes, 47, avenue Azereix, 65000 Tarbes, [francisco.carrillo@enit.fr](mailto:francisco.carrillo@enit.fr)

<sup>2</sup>CRAN, Nancy Université, 54506 Vandœuvre-lès-Nancy cedex, [marion.gilson@cran.uhp-nancy.fr](mailto:marion.gilson@cran.uhp-nancy.fr)

<sup>3</sup>LAI, Université de Poitiers, 40 avenue du Recteur Pineau, 86022 Poitiers [guillaume.mercere@univ-poitiers.fr](mailto:guillaume.mercere@univ-poitiers.fr)

Site Web : <http://gtident.cran.uhp-nancy.fr/>

#### **Présentation: contexte, problématique, thématique scientifique, objectif**

Historiquement, le groupe de travail Identification, dédié à la modélisation et à l'identification des systèmes, a été créé en juin 1996. Jean-Claude Trigeassou en a été l'initiateur et l'animateur jusqu'en mars 2001. Alain Barraud et Alain Richard ont ensuite assuré l'animation jusqu'en janvier 2005. Hugues Garnier, Mohammed M'Saad et Thierry Pointot ont alors pris le relais et animé le groupe jusqu'en janvier 2008. Depuis, Marion Gilson, Francisco Carrillo et Guillaume Mercère sont en charge du groupe.

La construction et l'utilisation de modèles constituent, de nos jours, des étapes incontournables de nombreuses disciplines scientifiques et technologiques (physique, chimie, biologie, économie...). La modélisation permet en effet de formaliser le comportement du processus étudié à l'aide d'une représentation, baptisée « modèle », à partir de laquelle il est possible de comprendre, commander ou améliorer le fonctionnement du procédé analysé. Deux approches, souvent complémentaires, peuvent être envisagées pour modéliser un système :

- la première, qui fait appel aux connaissances des spécialistes du domaine considéré, consiste à regrouper, généralement sous forme de systèmes différentiels, algébriques ou graphiques, les lois et relations de la physique qui décrivent le comportement du processus ;
- dans de nombreuses situations pratiques, la complexité du procédé à modéliser est telle qu'il est difficile, voire impossible, de connaître ou d'associer les lois physiques gouvernant la dynamique du système. Il est alors nécessaire de faire appel à un modèle construit à partir de mesures des données d'entrée-sortie du procédé. L'objectif majeur de ce modèle est de reproduire au mieux le comportement du processus identifié. On parle plus particulièrement, dans ce cas, « d'identification du système ». Elle consiste finalement à rechercher un modèle mathématique capable de reproduire aussi fidèlement que possible le comportement dynamique d'un système à partir de données expérimentales et de connaissances *a priori*.

La modélisation est souvent considérée comme la phase initiale de l'automatique moderne. Elle permet en effet de déterminer le modèle du procédé qui sera utilisé pour prédire son comportement futur, diagnostiquer ses évolutions de fonctionnement ou synthétiser son régulateur et sa loi de commande. Puisque les processus industriels sont généralement complexes, il est nécessaire de posséder des connaissances approfondies dans des domaines aussi variés que la mécanique, l'électronique, l'énergétique, la biologie ou la chimie pour obtenir un modèle boîte blanche efficace. La modélisation expérimentale ou l'identification des systèmes est donc devenue une alternative logique à la modélisation classique fondée sur l'exploitation des lois physiques.

La démarche classique employée en identification repose principalement sur :

- la formalisation des connaissances disponibles *a priori* ;
- le recueil des données expérimentales ;

- l'estimation de la structure, des paramètres et des incertitudes d'un modèle ;
- enfin la validation (ou l'invalidation) de celui-ci.

Cette multiplicité d'étapes variées faisant appel à de nombreuses disciplines scientifiques conduit à un grand nombre de problèmes théoriques et pratiques, allant de l'analyse des phénomènes à identifier, de l'acquisition de données et du traitement des signaux d'entrée-sortie au problème d'identifiabilité, du choix du critère à minimiser et de l'algorithme d'optimisation ou de l'analyse critique des résultats obtenus. Ces différents points constituent les principaux thèmes abordés par le groupe de travail. Il est important de noter que ce champ thématique à caractère pluridisciplinaire (automatique, traitement du signal, statistique, analyse numérique, génie des procédés, ...) trouve ses applications dans des domaines très variés allant des processus de fabrication aux systèmes de transport, en passant par les processus environnementaux.

Pratiquement, les objectifs du groupe concernent aussi bien le développement de nouvelles méthodes d'identification, leur mise en œuvre pratique (développement d'outils logiciels) que des actions d'animation auprès des communautés nationale et internationale.

### **Organisation, animation et mode de fonctionnement**

Le groupe de travail Identification fait partie de deux axes : l'axe Supervision, Identification et Maintenance (SIM) et l'axe Systèmes de Commande 1 : théories et méthodes (SC1). Il compte plus de 380 membres inscrits à la liste de diffusion provenant d'une vingtaine de laboratoires français : *CRAN, LAII, LGP, LAPS, L2S, GREYC, LAG, LAAS, LSIS, LAGIS, LaMCoS, LASL, LSIT, LIX INRIA futurs*. Cette liste n'est pas exhaustive mais reflète les laboratoires les plus actifs dans les réunions des deux dernières années

Les relations sont importantes avec d'autres groupes de travail notamment le groupe MEA (Méthodes Ensemblistes pour l'Automatique), le groupe S3 (Sûreté, Surveillance, Supervision), le groupe AA (Automatique et Automobile) et l'action thématique « Les systèmes à dérivées non entières ». Plus récemment, cette collaboration s'est étendue au groupe MOSAR (Méthodes et Outils pour la Synthèse et l'Analyse en Robustesse) au travers d'une réunion commune en juin 2008.

Les activités du groupe de travail Identification sont rythmées par des réunions tri-annuelles, qui réunissent en moyenne 20 personnes et durant lesquelles sont présentés, sous forme d'exposés, les résultats de différents laboratoires.

Ces réunions sont organisées autour de quatre présentations aussi bien de doctorants que de chercheurs confirmés. Les présentations ont une durée moyenne de 40 minutes suivies d'une discussion de 20 min permettant de véritables échanges scientifiques. Ce mode de fonctionnement, très apprécié des participants, sera reconduit lors des réunions à venir.

### **Bilan et faits marquants**

Le fait marquant de la période 2005-2006 est l'organisation des deuxièmes Journées Identification et Modélisation Expérimentale (JIME'2006) à Poitiers en novembre 2006. Ces 2<sup>èmes</sup> Journées Identification et Modélisation Expérimentale (<http://lail.univ-poitiers.fr/jime06/>) s'inscrivaient dans la continuité des premières journées organisées à Nancy en 2001. Elles avaient pour objectifs de rassembler les acteurs francophones du domaine de l'identification des systèmes, de présenter un bilan scientifique, le plus large possible, des activités du groupe et de proposer une image de la recherche en identification et en modélisation expérimentale, grâce à des présentations orales, des sessions posters et des démonstrations logicielles. Le programme de ces journées se trouve en annexe.

En 2007 et 2008, deux éléments principaux ont marqué l'animation du groupe de travail :

- la publication d'un numéro spécial de la revue Journal Européen des Systèmes Automatisés (JESA) regroupant une sélection d'articles des deuxièmes JIME. Ces deuxièmes Journées Identification et

Modélisation Expérimentale (<http://laii.univ-poitiers.fr/jime06/>), qui se sont déroulées à Poitiers en novembre 2006, s'inscrivaient dans la continuité des premières journées organisées à Nancy en 2001. Elles avaient pour objectifs de rassembler les acteurs francophones du domaine de l'identification des systèmes, de présenter un bilan scientifique, le plus large possible, des activités du groupe et de proposer une image de la recherche en identification et en modélisation expérimentale, grâce à des présentations orales, des sessions posters et des démonstrations logicielles. Ce numéro spécial, rédigé sous la direction de Hugues Garnier, Mohammed M'Saad et Thierry Poinot, regroupe huit articles sélectionnés parmi les trente-cinq articles des JIME'06. Une seconde révision a été réalisée après sélection. La liste des articles composant ce numéro spécial est présentée au sein du Tableau 1 ;

<i>Auteurs</i>	<i>Titres</i>
P. Young	The refined instrumental variable method unified estimation of discrete and continuous-time transfer function models
E. Walter, M. Kieffer	Sur quelques idées fausses ayant des conséquences en identification
M. Fliess, S. Fuchshumer, K. Schlacher, H. Sira-Ramirez	Discrete-time linear parametric identification: an algebraic approach
H. Garnier, M. Gilson, T. Bastogne	Identification de modèles à temps continu. méthodes, outil logiciel et avantages
G. Mercère, R. Ouvrard, M. Gilson, H. Garnier	Identification de systèmes multi-variables à temps continu par approche des sous-espaces
M. Pouliquen, M. M'Saad, P. Dorléans, J. F. Massieu	Estimation des paramètres électriques de la machine asynchrone à partir des méthodes des sous-espaces à temps continu
A. Benchellal, T. Poinot, J. C. Trigeassou	Opérateur d'intégration fractionnaire simplifié pour la modélisation des interfaces de diffusion
C. Join, J. Masse, M. Fliess	Commande sans modèle pour l'alimentation de moteurs : résultats préliminaires et comparaisons

Tab 1 : Auteurs et titres du numéro spécial JESA, Vol. 42, n° 2-3/2008

- La réunion commune des groupes de travail Identification et MOSAR en juin 2008. Cette réunion avait pour objectif de
  - présenter quelques outils d'identification pour la commande ;
  - mettre en évidence les besoins des automaticiens en charge du développement des lois de commande.

L'organisation d'une telle réunion découle d'un constat simple : les travaux développés dans la communauté de la commande supposent l'accès à un modèle nominal consistant associé à une borne sur le modèle d'erreur fiable. Dans de nombreuses situations, ces incertitudes sur les paramètres sont calculées d'après une expertise du domaine. D'un autre côté, les « identifieurs » fournissent des modèles en proposant, pour chaque paramètre, une caractérisation particulière de la confiance portée sur cette estimation (biais, variance). Toutefois, ces deux problématiques interdépendantes sont souvent considérées de manières disjointes. Cette réunion a ainsi permis d'ouvrir la discussion sur des problèmes communs. Elle a également été l'occasion de proposer l'intervention d'un collègue étranger spécialiste de l'identification des systèmes LPV : Marco Lovera, professeur associé de Politecnico di Milano (Italie).

Au niveau logiciel, le développement de la boîte à outils Matlab d'identification directe de modèles à temps continu CONTSID (<http://www.cran.uhp-nancy.fr/contsid/>) s'est poursuivi.

Au niveau rayonnement, de nombreux chercheurs du groupe ont participé significativement à l'animation de la communauté internationale en organisant des sessions invitées dans des conférences et notamment :

- IFAC World Congress 2008, Seoul, Corée, 6-8 juillet 2008 ;
- 16th IEEE Mediterranean Conference on Control and Automation, MED'08, Ajaccio France, 25-27 juin 2007 ;
- 15th IFAC Symposium on System Identification, SYSID'09, Saint-Malo France, 6-8 juillet 2009.

Le rayonnement international du groupe est également visible par la participation de certains de ces membres aux comités scientifiques suivants :

- l'IFAC Technical committee on "Modelling, Identification and Signal Processing" (<http://sigpromu.org/ifact/>) ;
- IEEE technical committee on "System Identification and Adaptive Control" (<http://sigpromu.org/ieetc/>) ;
- l'International Program Committee de l'IFAC Symposium on System Identification (SYSID) (<http://sysid2009.org/>).

Par ailleurs, Hugues Garnier (CRAN, Nancy), en collaboration avec Liuping Wang (RMIT Melbourne) a assuré la direction d'un ouvrage collectif sur l'identification de modèles à temps continu comprenant des contributions des experts mondiaux en identification (cf sommaire en annexe). Cet ouvrage a été l'occasion de synthétiser les travaux récents développés par les membres du GT et d'affirmer leur place dans le contexte de la recherche internationale en identification des systèmes.

Le site web du groupe (<http://gtident.cran.uhp-nancy.fr/>) rassemble les copies des présentations exposées lors des différentes réunions, l'annonce et le programme des réunions à venir, les thèses récemment soutenues dans le domaine, les références d'ouvrages de synthèse, les liens vers les conférences à venir, et divers liens vers d'autres sites en rapport avec l'identification des systèmes (lien vers des bases de données, des benchmarks, ...).

## **Programme des journées organisées par le groupe Identification depuis 2006**

Sont résumés ci-dessous les programmes des journées scientifiques organisées par le groupe depuis mars 2006. Au total, sept réunions ont été organisées durant cette période, toutes dans les locaux de l'ENSAM à Paris. A ces 7 journées, s'ajoutent les deuxièmes Journées Identification et Modélisation Expérimentale (JIME) organisées à Poitiers en novembre 2006.

### Programme de la réunion du 9 mars 2006

- E. Tohme, R. Ouvrard, T. Poinot et J.-C. Trigeassou (LAI, Poitiers), *Initialisation des algorithmes à erreur de sortie pour la convergence globale*
- D. Henry (LAPS, Bordeaux), *Analyse vibratoire des turbomachines d'hélicoptère par utilisation des modèles paramétriques et du test de rupture fréquentiel*
- J.-C. Carmona (LSIS, Marseille), *Estimation robuste: quelques résultats formels et méthodologiques*
- P. Sibille (CRAN, Nancy), *Un outil de calcul symbolique pour l'automatique des systèmes linéaires*

### Programme de la réunion du 8 juin 2006

- X. Bombois (Delft Center for Systems and Control, Pays-Bas), *Least costly identification for Control*
- G. Mercère (LAI, Poitiers), M. Gilson (CRAN, Nancy), *Identification des systèmes par approche des sous-espaces : un état de l'art en boucle ouverte et de nouveaux développements en boucle fermée*
- S. Thil, H. Garnier, M. Gilson (CRAN, Nancy), *Identification de modèles linéaires à temps continu dans un contexte erreurs en les variables*
- Préparation des JIME'2006

### JIME'2006 – 16 et 17 novembre 2006

- Voir programme complet en annexe

#### Programme de la réunion du 14 juin 2007

- Hassan Abouassa (LGI2A, Béthune), Michel Fliess (LIX INRIA Futurs, Paris), Cédric Join (ALIEN INRIA Futurs & CRAN, Nancy) *Premières applications de nouvelles techniques algébriques d'identification paramétrique au trafic routier*
- Didier Rémond, Marie-Ange Andrianoely, Gwenaëlle Aridon, Régis Dufour (LaMCoS, INSA-Lyon) *Comment améliorer l'identification de systèmes mécaniques à l'aide des polynômes de Chebyshev*
- Jérôme Antoni (UTC, Compiègne), Johan Schoukens (Vrije Universiteit Brussel) *Réglages optimaux pour la mesure non-paramétrique des fonctions de réponse en fréquence*
- Mohammed M'Saad et Mondher Farza (GREYC, Caen) *Sur la synthèse d'observateurs adaptatifs du type grand gain*

#### Programme de la réunion du 6 décembre 2007

- Béatrice Laroche (L2S, Gif-sur-Yvette) *Réduction d'ordre d'un modèle paramétrique de dynamique des populations en épidémiologie pour l'identification*
- Laurent Bako (LAGIS, Lille), René Vidal (Johns Hopkins University, USA) et Stéphane Lecoeuche (LAGIS, Lille) *Identification de systèmes MIMO ARX commutants*
- Edouard Laroche et Julien Delavigne (LSIIT, Strasbourg) *Analyse des effets dynamiques de la mesure par caméra*
- Stéphane Victor, Rachid Malti, Alain Oustaloup (LAPS, Bordeaux) et Hugues Garnier (CRAN, Nancy) *Variable instrumentale optimale pour l'identification de systèmes à dérivées fractionnaires*

#### Programme de la réunion du 13 mars 2008

- Afzal Chamroo (LAI, Poitiers) *Identification et commande en temps réel par les systèmes à fonctionnement par morceaux*
- Baptiste Chomette, Didier Rémond, Simon Chesné et Luc Gaudiller (LaMCoS, Lyon) *De l'intérêt de l'identification dans le contrôle actif modal de structures – Influence de la variation des paramètres modaux sur les performances et le coût énergétique du contrôleur.*
- Fabien Lauer, Gérard Bloch (CRAN, Nancy) *Une approche basée sur les machines à vecteurs de support (SVM) pour l'identification des systèmes hybrides*

#### Programme de la réunion commune GT Identification et MOSAR du 26 juin 2008

- Dimitri Peaucelle (LAAS, Toulouse) *Modèles LTI incertains en commande robuste*
- Carine Jauberthie-Salsmann (LAAS, Toulouse) *Estimation garantie d'état dans un contexte à erreurs bornées*
- Marco Lovera (Politecnico di Milano, Italie) *LPV/LFT modelling and identification: an overview*
- Gilles Ferreres (ONERA-DCSD, Toulouse) *Techniques d'estimation d'un modèle LPV et/ou LFT.*

#### Programme de la réunion du 27 novembre 2008

- Firas Khemane, Rachid Malti, Magalie Thomassin, Tarek Raïssi (LAPS, Bordeaux) *Identification fréquentielle par modèle non entier utilisant une approche ensembliste*
- Laurent Bourgois, Gilles Roussel (LASL, Calais) *Inverseur neuronale semi-physique*
- Jean Duplax (LSIS, Toulon) *Historique et résultats expérimentaux de l'identification d'un système MIMO dans un contexte ouvert, peu stationnaire, non linéaire et très perturbé, identification fréquentielle par modèle non entier utilisant une approche ensembliste*
- Alexandre Janot (HAPTION S.A., Soulgé Sur Ouette) *Modélisation et identification des interfaces haptiques*

### **Evolution du groupe de travail et perspectives**

Le groupe souhaite développer ses activités d'animation aux niveaux national et international et ainsi poursuivre sa mission d'échange, d'ouverture et de rayonnement à travers les actions suivantes :

- réaliser chaque année une réunion commune avec un autre groupe de travail. Le succès de la réunion avec le groupe de travail MOSAR nous incite en effet à réitérer l'expérience dès 2009. Plus particulièrement, nous souhaitons nous rapprocher de la communauté s'intéressant à la mécanique. Plusieurs discussions avec nos collègues du LaMCoS nous ont montré que ces derniers avaient de

nombreux problèmes de modélisation expérimentale à résoudre. Du côté de notre communauté, ces échanges nous ont permis de mettre en évidence que certains aspects, peu traités par les chercheurs en identification, étaient fondamentaux d'un point de vue pratique. Il semble donc que cette complémentarité soit une base solide à l'organisation d'une réunion commune. Nous sommes actuellement en cours d'organisation de cette réunion qui devrait se dérouler en mai 2009 ;

- inviter des scientifiques étrangers de haut niveau à venir faire des exposés de synthèse. Ceci peut permettre d'initier des collaborations avec ces chercheurs de haut niveau mais également d'augmenter la visibilité internationale des activités du groupe. Des actions dans ce sens ont été récemment initiées : Xavier Bombois (TU Delft, Pays-Bas), Peter Young (Lancaster University, U.K.), Marco Lovera (Politecnico di Milano, Italie) ont en effet exposé leurs travaux entre 2006 et 2009 ;
- diffuser les acquis et le savoir-faire auprès du monde industriel. La visibilité des travaux de recherche menés par le groupe Identification auprès des industriels doit être améliorée. Des actions sous la forme de journées ouvertes ou spécifiques, d'écoles d'été, ... sont à envisager avec l'objectif de diffuser sous forme accessible les méthodes et outils logiciels d'identification et ainsi améliorer la visibilité des recherches conduites par les membres du groupe ;
- profiter d'un créneau horaire lors de nos réunions pour présenter un état de l'art de problèmes classiques d'identification sous forme de mini cours à l'attention des doctorants mais également de chercheurs confirmés. Le groupe de travail doit en effet conserver son rôle pédagogique ;
- poursuivre les développements logiciels comme par exemple la boîte à outils CONTSID. Cette boîte est téléchargeable sur le site <http://www.iris.cran.uhp-nancy.fr/contsid/> .

## ANNEXE

### Programme des Journées Identification et Modélisation expérimentale (JIME'2006)

#### Poitiers – 16 et 17 novembre 2006

##### Jeudi 16 novembre 2006

###### Plénière

Peter Young (Lancaster University, U.K.). Refined instrumental variable estimation: a general approach to transfer function modelling from time series data

###### Session orale 1

Hugues GARNIER, Marion GILSON et Thierry BASTOGNE. Identification de modèles paramétriques à temps continu. Méthodes, outil logiciel et avantages

Julien NEYRAND, Marie-Ange ANDRIANOELY et Didier REMOND. Identification continue du comportement mécanique sur une base polynomiale de Chebyshev

Alexandre JANOT, Catherine BIDARD et Maxime GAUTIER. Modélisation, identification d'une interface médicale

Elie TOHME, Régis OUVRARD, Jean-Claude TRIGEASSOU, Antoine ABCHE et Thierry POINOT. Initialisation des algorithmes d'optimisation - Comparaison de deux approches à erreur d'équation

Patrick SIBILLE. Estimation de la matrice de covariance du modèle à temps continu dans une procédure d'identification indirecte

Cédric JOIN, John MASSE et Michel FLIESS. Commande sans modèle pour l'alimentation de moteurs : résultats préliminaires et comparaisons

###### Session 2

François MALBURET et Jérôme MONTAGNY. Identification modale d'un hélicoptère : problématique et aspects expérimentaux

Elie TOHME, Régis OUVRARD, Jean-Claude TRIGEASSOU, Antoine ABCHE et Thierry POINOT. Une méthodologie pour l'amélioration de la convergence des algorithmes à erreur de sortie

Mathieu GILLET, Laurent AUTRIQUE et Laetitia PEREZ. Modélisation expérimentale de revêtements intumescents et identification de propriétés thermiques

Imene BAZINE B.AMEUR, Jean Claude TRIGEASSOU, Thierry POINOT et Khaled JELASSI. Identification de la machine à courant continu en boucle fermée par erreur de sortie

Abdelbaki DJOUAMBI et Alina VODA BESANÇON. Identification récursive des systèmes à dérivée non entière

Amel BENCHELLAL, Thierry POINOT et Jean-Claude TRIGEASSOU. Opérateur d'intégration fractionnaire simplifié pour la modélisation des interfaces de diffusion

### **Session Poster & logiciel**

Charles-Eric LEMAIRE, Pierre-Olivier VANDANJON et Maxime GAUTIER. Estimation du torseur des efforts de contact d'un compacteur vibrant en utilisant un modèle dynamique

Yvon THARRAULT, Gilles MOUROT, José RAGOT, David FIORELLI et Serge GILLE. Identification de relations de redondance analytique pour le diagnostic de fonctionnement de capteurs d'une station d'épuration

Laurent SIGNAC et François BENOIT-MARAND. Identification d'un système non linéaire de vases communicants par réseaux de neurones à temps continu

Julien CAROUX, Eduardo HARO, Michel BASSET et Gérard-Léon GISSINGER. Méthodologie d'identification pour l'estimation des paramètres physiques d'un véhicule à partir d'essais réels

Alexandre CHIBANE, Pierre GRANGEAT et Laurent DESBAT. Inversion d'un problème électrochimique à partir d'un modèle temporel explicite non entier

Abdallah HABBADI, Francisco CARRILLO et Arnaud BAYSSE. Une nouvelle approche d'identification pour la surveillance d'un entraînement électrique à courant continu

M.K. BEN GAYED, B. BOUSSAID, R. BEN HASSINE et M.N. ABDELKRIM. La modélisation Bond Graph d'un échangeur thermique à plaques

Boumedyen BOUSSAID, Charfeddine TAHRI, M. Koni BEN GAYED et M. Naceur ABDELKRIM. La modélisation Bond Graph des phénomènes de commutation dans les procédés pétrochimiques

Minh Tu PHAM, Mohamed SMAOUI, Xavier BRUN et Sylvie SESMAT. Modélisation en vue de la commande et identification paramétrique d'un vérin électropneumatique

Riad RIADI, Rousseau TAWEGOUM, Ahmed RACHID et Gérard CHASSERIAUX. Identification du modèle non linéaire NARX d'un groupe de conditionnement d'air passif

Edouard LAROCHE et Philippe CELKA. Identification des dynamiques d'un manipulateur grâce à la vision

Magalie THOMASSIN, Didier GEORGES, Gildas BESANÇON et Xavier LITRICO. Modélisation et identification d'un bief d'irrigation par une méthode de collocation

Gaëtan VIDEAU, Tarek RAISSI et Ali ZOLGHADRI. Détection de défauts par analyse par intervalles

Luc JAULIN, Michel LEGRIS et Frédéric DABE. GESMI, un logiciel pour l'aide à la localisation de mines sous-marines

Hugues GARNIER, Marion GILSON, Thierry BASTOGNE et Hamza ZBALI. CONTSID : un outil logiciel pour l'identification de modèles paramétriques à temps continu à partir de données expérimentales

### **Vendredi 17 novembre 2006**

#### **Plénière**

Eric WALTER. Sur quelques idées fausses ayant des conséquences en identification

#### **Session 3**

Michel FLIESS, Stefan FUCHSHUMER, Kurt SCHLACHER et Hebertt SIRA-RAMIREZ. Discrete-time linear parametric identification: An algebraic approach

Philippe NEVEUX, Eric BLANCO et Gérard THOMAS. Application du filtrage robuste à l'identification

Fabien LAUER et Gérard BLOCH. Méthodes SVM pour l'identification

Rodolfo ORJUELA, Didier MAQUIN et José RAGOT. Identification des systèmes non-linéaires par une approche multi-modèle à états découplés

#### **Session 4**

Guillaume MERCÈRE, Régis OUVRARD, Marion GILSON et Hugues GARNIER. Identification de systèmes multivariés à temps continu par approche des sous-espaces

Mathieu POULIQUEN, Mohammed M'SAAD, Philippe DORLÉANS, Malek GHANES et Jean François MASSIEU. Identification d'une classe de système par les méthodes des sous-espaces, cadre pour l'estimation des paramètres électriques d'un moteur asynchrone

Laurent BAKO, Guillaume MERCÈRE et Stéphane LECOEUICHE. Identification en ligne de systèmes commutants à structure variable

Nacim MESLEM, Nacim RAMDANI et Yves CANDAU. Identification ensembliste de systèmes à temps continu par atteignabilité hybride

## Référence de l'ouvrage cité dans le rapport

Identification of Continuous-time Models from Sampled Data.

H. Garnier and L. Wang (Eds.)

Springer-Verlag, London, 2008.

Series: Advances in Industrial Control

XXVI, 413 p. 105 illus., Hardcover

ISBN: 978-1-84800-160-2

<http://www.springer.com/engineering/book/978-1-84800-160-2>

### *Sommaire*

Chapter 1. Direct Identification of Continuous-time Models: Issues, Basic Solutions and Relevance

*H. Garnier, L. Wang, P.C. Young*

Chapter 2. Estimation of continuous-time stochastic system parameters

*E.K. Larsson, M. Mossberg, T. Söderström*

Chapter 3. Robust Identification of Continuous-time Systems from Sampled Data

*J.I. Yuz, G.C. Goodwin,*

Chapter 4. Refined Instrumental Variable for Identifying Continuous-Time Hybrid Box-Jenkins Models

*P.C. Young, H. Garnier, M. Gilson*

Chapter 5. Instrumental variable methods for continuous-time closed-loop model identification

*M. Gilson, H. Garnier, P.C. Young, P. Van den Hof*

Chapter 6. Model Order Identification for Continuous-time Models

*L. Wang, P.C. Young*

Chapter 7. Estimation of the Parameters of Continuous-time Systems Using Data Compression

*L. Wang, P. Gawthrop*

Chapter 8. Frequency-domain Approach to Continuous-time System Identification: Some Practical Aspects

*R. Pintelon, J. Schoukens, Y. Rolain*

Chapter 9. The CONTSID Toolbox : A Software Support for Data-based Continuous-time Modelling

*H. Garnier, M. Gilson, T. Bastogne, M. Mensler*

Chapter 10. Subspace-based Continuous-time Identification

*R. Johansson*

Chapter 11. Process Parameter and Delay Estimation from Non-uniformly Sampled Data

*S. Ahmed, B. Huang, S. Shah*

Chapter 12. Iterative Algorithms for Identification of Continuous-time Systems with Unknown Time Delays from Sampled Input-output Data

*Z.J. Yang*

Chapter 13. Closed-loop Parametric Identification for Continuous-time Linear Systems via New Algebraic Techniques

*M. Fliess, H. Sira-Ramirez*

Chapter 14. Continuous-time model identification using spectrum analysis with passivity preserving model reduction

*R. Johansson*

## PRESENTATION DU GROUPE DE TRAVAIL

### INGENIERIE DE LA COMMANDE ET DE LA SUPERVISION DES SED

Pascal Berruet<sup>1</sup> et Jean-François Pétin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lab-STICC, UMR 3192 CNRS, Université Européenne de Bretagne, Centre de Recherche, BP 92116, 56321 Lorient Cedex, [pascal.berruet@univ-ubs.fr](mailto:pascal.berruet@univ-ubs.fr)

<sup>2</sup> CRAN, UMR 7039, Nancy-Université, CNRS, Faculté des sciences et techniques, BP 70239, 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy, [jean-francois.petin@cran.uhp-nancy.fr](mailto:jean-francois.petin@cran.uhp-nancy.fr)

#### Présentation scientifique

Le groupe de travail INCOS traite de l'**Automatique des Systèmes à Événements Discrets (SED)**. Ses thématiques scientifiques relèvent d'une recherche méthodologique et/ou appliquée visant à développer les modèles et méthodes permettant la génération des modèles de commande et de supervision des SED et contribuant à leur sûreté de fonctionnement ou à l'amélioration de leurs performances. A l'origine, les cibles applicatives du GT concernaient exclusivement les systèmes manufacturiers de production de biens et de services, mais on peut constater, depuis 2005, un déplacement progressif des centres d'intérêt vers les domaines de l'énergie, du transport ou encore des systèmes embarqués. En 2006 et 2007, Le groupe INCOS a été animé par Nidhal Riz et Armand Toguyeni. Depuis janvier 2008, le groupe est animé par Pascal Berruet et Jean-François Pétin.

#### Problématiques et thématiques scientifiques

##### Commande sûre des SED

Le thème « Commande sûre des SED » s'intéresse au développement d'approches systématiques et rigoureuses de conception de la commande de SED. L'objectif est de s'assurer que les modèles de commande couplés aux modèles du système à commander (ou modèles de procédé) respectent bien les propriétés spécifiées. Deux familles d'approches sont développées aussi bien en France qu'au niveau international : les méthodes par raffinement parmi lesquelles les approches dites de synthèse sont les plus répandues et les méthodes par assertion reposant sur une vérification a posteriori des modèles.

Les approches de synthèse de la commande ont pour objectif de générer automatiquement des modèles de commande étant, par construction, sûrs, réactifs et sans blocage à partir de la formalisation des comportements attendus et de la dynamique du système physique à commander. L'exemple type de cette famille d'approche est la *Supervisory Control Theory* proposée par Ramadge et Wonham dans les années 80. Le principal avantage des approches de synthèse est la rigueur de leur démarche qui permet de garantir le respect de propriétés de sûreté et de vivacité, d'une part, et le respect des spécifications, d'autre part. L'inconvénient de ces approches est leur difficulté à traiter des systèmes complexes à cause de leur taille ou de l'expressivité requise pour construire les modèles. Cela pose le problème des outils formels de modélisation (automates temporisés, Réseau de Petri de haut niveau, grafcet, approches algébriques, ...) les mieux appropriés pour combattre le phénomène d'explosion combinatoire tout en ayant une bonne expressivité. Plusieurs équipes des laboratoires membres du GT INCOS sont intéressés par cette problématique (AMPERE, CRAN, CRESTIC, LAGIS, LGIPM, LURPA, ...).

La deuxième famille d'approches pour la conception de la commande repose sur des méthodes d'ingénierie plus classiques visant à assurer le respect d'exigences au cours du cycle de développement d'un système automatisé au travers de modèles plus ou moins formels permettant : d'identifier et de formaliser les exigences relatives au système à automatiser, d'allouer ces exigences sur les fonctions et/ou composants d'une architecture de commande, de concevoir les comportements élémentaires des composants et enfin de valider par simulation et/ou de vérifier formellement lorsque cela est possible les

solutions issues du processus de conception. Le principal avantage de ce type d'approche est qu'elle reste très pragmatique mais reste confrontée à une difficulté majeure : comment garantir la cohérence (ou l'équivalence) sémantique entre les modèles fonctionnels, structurels et/ou comportementaux utilisés lors des différentes phases du cycle de vie (approches multi-modèles, niveaux d'abstraction, ...) ? L'ingénierie dirigée par les modèles et ses mécanismes formels de transformation de modèles est une piste prometteuse à explorer. Plusieurs équipes du GT INCOS s'intéressent soit à la génération de la commande soit à la vérification/validation de la commande (CRAN, LESTER/LAB-STICC, LAAS, LAGIS, LURPA).

Sur la période 2007-2008, ce thème a fait l'objet de nombreux échanges à l'occasion des réunions organisées par le GT INCOS ou dans le cadre d'actions entre équipes du GT (jury de thèses, ...). Le GT INCOS a également organisé, sur ce thème, un module de formation à l'école des JDMACS en 2007 et a fait une proposition de module pour l'école des JDMACS de 2009.

### Diagnostic et reconfiguration des SED

Actuellement les systèmes évoluent dans un contexte incertain avec des exigences de qualité de service de plus en plus élevées en termes de coûts, de performance, de productivité, de qualité, de disponibilité, d'écologie et de développement durable. L'apport des nouvelles technologies de l'information et de la communication embarquées au cœur des architectures de commande des SED ou des produits eux-mêmes ouvrent de nombreuses perspectives en termes de reconfiguration des systèmes leur permettant de s'adapter aux variations de l'environnement ou des processus de production (aléas et pannes).

Le développement de nouvelles fonctionnalités de diagnostic et de reconfiguration, exploitant au plus tôt les degrés de flexibilité des systèmes de production, ainsi que de méthodes de développement tenant compte du caractère hautement configurable des systèmes, constituent donc les défis à relever. Un des objectifs sera de proposer l'obtention d'un flot cohérent permettant d'implanter les fonctions de surveillance / supervision / commande. Ceci amènera de façon non exhaustive à s'intéresser :

1. au **diagnostic** distribué ou décentralisé, à la co-diagnosticabilité : une piste de recherche actuelle réside dans l'utilisation de formalismes temporisés (automates temporisés, Réseau de Petri temporisés ou temporels, ...) pour construire des observateurs permettant l'identification de l'état du système surveillé à partir de l'observation d'un certain nombre d'événements ;
2. à la génération d'un nouveau modèle de commande faisant suite à une décision de **reconfiguration** : hors-ligne, pour une reconfiguration matérielle ou logicielle du système ou, en ligne, ce qui suppose d'être capable de décider de l'état objectif (état de reprise dans le cas d'une réaction à une défaillance) d'une part, et d'autre part de déterminer comment mettre en œuvre le transitoire permettant de passer de l'état courant défaillant à cet état objectif. Certaines approches proposées sont basées sur des techniques d'intelligence artificielle. D'autres exploitent des techniques à base de graphe (GAO, réseaux de Petri, ...) qui peuvent être mixées avec des techniques d'optimisation.

Plusieurs équipes du GT INCOS ont été impliquées sur ce thème (AMPERE, CRAN, CRESTIC, G-SCOP, LAAS, LAGIS, LESTER/LAB-STICC, LIESP, ...) et ont travaillé de manière collaborative dans le cadre de l'action RECSSED (Reconfiguration des Systèmes à Evénements Discrets) soutenue par le GdR MACS.

### **Objectifs du GT INCOS**

Le principal objectif du GT INCOS concerne l'animation de la communauté de l'**Automatique des Systèmes à Evénements Discrets**. A terme, il s'agit de donner une visibilité nationale et internationale au groupe INCOS. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire que le groupe INCOS soit un groupe de travail attractif :

- pour les doctorants, en leur proposant une tribune de référence pour présenter leurs travaux et acquérir de la connaissance au travers des présentations et échanges avec les membres du groupe ;
- pour les enseignants-chercheurs, au travers du développement de projets porteurs trouvant un écho dans les appels d'offres nationaux et débouchant sur la production de livrables tangibles.

## ***Positionnement au sein du GDR MACS***

Les thématiques scientifiques développées positionnent clairement le GT INCOS :

1. en rattachement principal, dans l'axe thématique 5 "Système de commande 1: théorie et méthodes", en lien avec les groupes de travail RdP (réseaux de Petri pour la commande ou le diagnostic des SED) et SDH (outils de modélisation pour la commande et la supervision des systèmes hybrides) ;
2. en rattachement secondaire, dans l'axe thématique 4 "Supervision, Identification et Maintenance" en lien avec les groupes MACOD (Modélisation et optimisation de la maintenance coopérative et distribuée) et S3 (thématique commune du diagnostic et de la supervision).

L'élargissement des cibles applicatives d'INCOS à des domaines tels que le transport, l'énergie (production et distribution), les systèmes d'aide au handicap, les systèmes embarqués, les systèmes sociotechniques, ...) offrira l'opportunité de collaborer avec d'autres GT (SYSHOMM) et d'autres GDR tels que le GDR ASR, le GDR Psycho-ergo et le GDR STIC Santé.

## **Organisation du GT INCOS**

### ***Animation et mode de fonctionnement***

Le travail dans le groupe INCOS s'organise essentiellement autour de :

1. **réunions de travail** d'une journée, à un rythme de 2 ou 3 réunions par an, consacrées à un thème abordé par le groupe, au travers de présentations classiques de travaux de doctorants ou de synthèse sur le domaine par un senior ;
2. **réunions de synthèse** visant à présenter à la communauté l'état d'avancement des différents projets menés par le groupe ; ces réunions de synthèse s'intègrent dans le cadre des journées STP du GDR MACS. Elles offrent l'opportunité d'échanger autour d'activités transversales, notamment avec les groupes MACOD et RdP.

Depuis février 2008, nous avons souhaité mettre en place une politique de projets ayant une finalité clairement affichée en termes de résultats, telle que la rédaction d'ouvrage, l'édition de numéros spéciaux en revue ou encore la proposition de sessions organisées en conférences. Ces projets ont pour vocation de fédérer un sous-ensemble des équipes impliquées dans le GT afin de favoriser l'émergence de travaux collaboratifs de recherche et de réponses concertées à des appels à projets nationaux. Le travail en projet pourra s'appuyer sur des **benchmarks** permettant de confronter plusieurs approches sur un cas d'étude commun ou de fédérer plusieurs approches complémentaires autour de la résolution d'un problème commun. Une proposition de projet « Diagnostic des SED » portée par le CReSTIC est actuellement en cours de discussion au sein du GT.

### ***Labos participants***

AMPERE, CRESTIC, CRAN, INRIA R-A, IRCCyN, IRISA, I3S, G-SCOP, LAAS, LAB, LAG, LAGIS, LAM, LAMIH, LAAS, LIESP, LESTER/LAB-STICC, LIMOS, LISA, LGIPM, LURPA

## **Bilan**

En termes de formation, Jean-Marc Roussel et Jean-François Pétin ont proposé un module de formation intitulé « Conception de la commande de SED sûrs de fonctionnement » à l'école des JDMACS de Reims en juillet 2007. Fort du succès rencontré, Pascal Berruet, Laurent Hardouin et Jean-Jacques Loiseau proposeront un nouveau module « Commande et surveillance des SED : Application aux systèmes manufacturiers » au cours de l'école des JDMACS qui se déroulera à Angers en mars 2009.

Eric Zamai, Fabien Rigaud, Jean-François Pétin, Pascal Berruet et Armand Toguyeni ont rédigé l'article « Principes des architectures de pilotage des procédés industriels » dans *Techniques de l'Ingénieur. Génie industriel/Conception et Production/Conduite des systèmes industriels*, juillet 2007.

Une session invitée, intitulée *Reconfiguration for discrete events control*, à la 2<sup>nd</sup> *IFAC Workshop on Conference on Dependable Control of Discrete Systems, DCDS'09* qui se déroulera à Bari en Italie en juin prochain, a été organisée par Pascal Berruet et Eric Niel.

Deux autres sessions invitées ont également été organisées par le GT INCOS au CESA'2006 :

- Session *Discrete Event Systems and Supervisory and Monitoring*, par N. Rezg (LGIM) et E. Craye (LAGIS).
- Session *Reconfiguration for complex discrete event systems*, par P. Berruet (LESTER) et E. Zamai (G-SCOP)

## ***Programme des journées et réunions organisées par le GT depuis 2006***

### *Réunion du 10 mars 2006 (pendant les journées STP)*

- Saïd Amari (IRCCyN, Nantes) *Commande des graphes d'événements temporisés sous contraintes temporelles*
- Nadia Hamani (LAGIS, Lille) *Une approche de modélisation pour la gestion des modes des Systèmes Flexibles de Production Manufacturière*
- Al Saba Michel (LISA, Angers) *Modélisation et commande des systèmes flexibles de production manufacturière par l'algèbre des dioïdes*
- Israël Barragan (LURPA, Cachan) *Elaboration des propriétés formelles de sûreté des contrôleurs logiques à partir de l'analyse prévisionnelle des défaillances*
- Didi Alaoui Mohamed Khalid (LISA, Angers) *De la modélisation à l'analyse de la vivacité des graphes d'événements temporels*

### *Réunion du 26 octobre 2006 (journées « Enjeux de l'automatique embarquée »)*

Cette journée a été organisée par l'AFSEC (Approches Formelles pour les Systèmes Embarqués Communicants <http://afsec.asr.cnrs.fr>), action inter GdR ALP, ASR (anciennement ARP) et MACS en collaboration avec le GT INCOS. Le programme de la journée est le suivant :

- Ludovic Augusto (Johnson Controls) *L'électronique embarquée automobile : vision d'un équipementier*
- PSA Peugeot Citroën
- Jean-Pierre Elloy (IRCCyN, Nantes) *Une spécification « complète » préalable à la sûreté de fonctionnement ? ... ou la mise en place des mécanismes de vérification dans le processus de développement*
- Eric Niel (AMPERE, Lyon) et Claude Jard (IRISA, Rennes) *Table ronde*

### *Réunion du 17 novembre 2006 (pendant les journées STP de Valenciennes)*

- M. Hizem (LAGIS, Lille) *Interception d'un mobile dans un graphe pondéré*
- J.L. Lacan (LESTER, Lorient) *Approche par composant : un cadre pour l'ingénierie de la commande*
- E. Deschamps (LAG, Grenoble) *Synchronisation de modèles de parties opératives suite à l'occurrence de défaillances en contexte incertain*
- Aïssam Belabbas (LESTER, Lorient) *Système reconfigurable pour assistance technique aux personnes handicapées*

### *Réunion du 16 mars 2007 (pendant les journées STP – réunion commune INCOS - RdP)*

- Siegfried Soldani (ACTIA/LAAS) *Diagnostic de fautes intermittentes dans les systèmes embarqués : application à l'automobile*
- Sébastien Henry (LIESP, Lyon) *Synthèse de lois de commande pour la configuration et la reconfiguration des systèmes industriels complexes*
- Thomas Bourdeaud'huy et Armand Toguyeni (LAGIS, Lille) *Décisions de reconfiguration basées sur l'exploitation de techniques d'optimisation*

### *Réunion du 17 janvier 2008, ENS de Cachan*

- Appel à candidature pour le renouvellement de l'équipe d'animation

### *Réunion du 3 avril 2008, ENS de Cachan*

- Panorama des activités de recherche dans le domaine de l'Automatique des SED par les laboratoires présents

- Eric Deschamps (G-SCOP) *Diagnostic de services pour la reconfiguration dynamique de SED*
- He-Xuan Hu (LAGIS) *Diagnostic décentralisé des systèmes à événements discrets*

Réunion du 12 juin 2008, ENS de Cachan

- Discussions autour des projets INCOS
- José Cury (LCMI / DAS / UFSC) *Some results on the supervisory control of discrete event systems: modular, hierarchical and multitasking control*
- Grégory Faraut (AMPERE) *Reconfiguration multi-mode dans le cadre de la théorie RW*

Programme de la réunion des 21 et 22 novembre 2008 – Journées STP, Metz (commune avec MACOD)

- Nidhal Rezg (LGIPM) *Le LGIPM en tant que membre actif du GT MACOD.*
- Alexandre Philippot (CReSTIC) *Elaboration de diagnostiqueurs locaux à partir de modèles distribués de Partie Opérative*
- Jérémie Schutz (LGIPM) *Etude de politiques de maintenance basées sur une loi de défaillance dynamique et sur un horizon de temps fini*
- Kondo H. Adjallah (LGIPM) *Opérateurs de symétrie médiane pour surveillance des systèmes en réseau à l'aide des FSM*
- Jean-François Pétin (CRAN) *Objectifs et activités du GT INCOS*
- Kondo H. Adjallah (LGIPM) *Objectifs et activités du GT MACOD*

## Evolution du GT, projets, perspectives

Le GT INCOS a vocation à poursuivre l'animation de la communauté de l'Automatique des SED autour des deux axes identifiés préalablement : « commande sûre des SED » et « diagnostic et reconfiguration des SED ».

Dans le cadre des journées de travail INCOS, nous souhaitons réserver une part plus importante (1/2 journée) au travail par projets. Un projet est actuellement en voie d'élaboration : il s'agit du projet « Diagnostic des SED » visant à comparer les modèles et méthodes de diagnostic des SED sur un benchmark proposé par le CReSTIC. D'autres projets sont envisagés, citons de manière non exhaustive :

- projet « définition et implantation d'un processus de reconfiguration » ;
- projet « équivalences sémantiques et transformations de modèles » ;
- projet « commande répartie » ;
- projet « enseignement » visant à partager des expériences, modèles et outils dans l'enseignement de l'automatique des SED ou de manière plus large dans l'enseignement de l'automatisation des systèmes industriels (commande, supervision, MES).

Par ailleurs, trois actions ponctuelles seront proposées aux membres INCOS afin :

- d'établir un panorama de la recherche française dans le domaine de l'automatique des SED (laboratoire, thèmes de recherche, permanents impliqués, thèse soutenues ou en cours) afin de mieux cerner les attentes d'une communauté aujourd'hui relativement dispersée ;
- d'identifier les **groupes de recherche européens** œuvrant dans le domaine de l'automatique des SED en vue de tisser, à terme, des relations avec ces communautés ;
- d'améliorer la communication du groupe vis-à-vis de la communauté scientifique nationale (constitution du groupe, travaux, outils scientifiques...) notamment au travers de la mise en œuvre d'un **site internet du groupe**. Des démarches ont été engagées en ce sens, mais sont actuellement retardée pour des raisons techniques et administratives d'hébergement.

Enfin, l'organisation d'une journée de travail commune avec le GT MACOD lors des journées STP de Metz a montré l'intérêt de poursuivre cette collaboration, **dans le cadre des journées STP et indépendamment des activités propres de chaque GT.**

Sur un autre plan, nous souhaitons que l'animation puisse déboucher sur une dynamique permettant de répondre à un appel à projet ANR sur les 2 ans à venir ainsi que la publication dans des revues internationales et la participation active à la rubrique « conduite des systèmes industriels » de la revue TI.

## PRESENTATION DU GROUPE DE TRAVAIL

### MOSAR : METHODES ET OUTILS POUR LA SYNTHESE ET L'ANALYSE ROBUSTES

Edouard LAROCHE, LSIIT, Université de Strasbourg, [laroche@lsiit.u-strasbg.fr](mailto:laroche@lsiit.u-strasbg.fr)

Dimitri PEAUCELLE, LAAS-CNRS, Toulouse, [peaucelle@laas.fr](mailto:peaucelle@laas.fr) (depuis 2008)

Daniel Alazard, SUPAERO, Toulouse, [alazard@supaero.fr](mailto:alazard@supaero.fr) (jusqu'en 2008)

Site web <http://www.laas.fr/MOSAR/>

## 1 - Présentation

### Objectifs

La théorie de la commande robuste a atteint ces dernières années un degré de maturité théorique important. Ainsi, dans le cadre linéariste, les récentes avancées ont permis de formaliser d'une part l'écart entre système physique et modèle mathématique à travers la notion de modélisation incertaine et d'autre part de systématiser la caractérisation des comportements des systèmes de commande par la définition de multiples niveaux de performance. De nombreuses méthodes systématiques de synthèse robuste ont également été développées permettant ainsi de définir un cadre unifié allant de la modélisation incertaine à l'analyse et la synthèse de lois de commande robuste.

Malgré ce corpus théorique important, de nombreux problèmes théoriques sont encore ouverts et n'ont pas encore trouvé de solution académique complète ou de solution numérique satisfaisante (synthèse de lois de commande d'ordre réduit, problèmes multiperformances...). Outre les approches théoriques issues du périmètre scientifique habituel du groupe (automatique linéaire, non-linéaire, analyse et synthèse en robustesse,...), une ouverture vers les mathématiques appliquées et particulièrement l'optimisation est maintenant privilégiée.

Cette ouverture correspond également à un soucis des industriels chez lesquels les outils de la commande robuste sont maintenant bien introduits. Néanmoins la maîtrise complète de ces outils se heurte à ces problèmes non résolus particulièrement mis en évidence sur les applications industrielles caractérisées par des modèles de grande dimension et/ou des cahiers des charges très complets.

Partant du constat précédent, l'objectif de ce groupe est double. D'une part, il s'agit de jouer le rôle habituel académique d'animation de la communauté scientifique nationale. La vocation première du groupe est donc d'accueillir des exposés sur des résultats théoriques préliminaires et sur les derniers développements dans le domaine.

Le groupe poursuit également l'objectif de la diffusion des résultats acquis tant en direction des doctorants que du monde industriel. La mise en place d'une politique d'exposés tutoriels récurrents doit permettre de répondre à cet objectif. Réciproquement, le groupe accueille très largement des exposés applicatifs permettant la confrontation des théories développées avec des problèmes réalistes.

### Missions

Le groupe MOSAR étant principalement un groupe dédié à l'animation scientifique, à travers principalement, l'organisation de journées d'exposés et d'échanges. Il est également amené à proposer des sessions spéciales et à organiser l'édition de numéros spéciaux de revues sur ses thématiques.

## Historique

Le groupe de travail sur les Méthodes et Outils pour la Synthèse et l'Analyse Robustes est issu du précédent groupe de travail sur la commande robuste des systèmes multivariables constitué en mars 1997, reconnu par le GdR Automatique en septembre 1999. Son existence a pris effet lors de la réunion de Nancy du 13 juin 2003. A cette occasion, afin de lui redonner une nouvelle dynamique, son périmètre scientifique a été redéfini conduisant à un changement d'intitulé. Denis Arzelier et Daniel Alazard ont animé le GT à partir de cette date. Depuis avril 2007, Edouard Laroche a remplacé Denis Arzelier aux coté de Daniel Alazard. En avril 2008, Dimitri Peaucelle a remplacé Daniel Alazard comme co-animateur.

## Périmètre scientifique

Le paradigme central en commande robuste repose sur la structure de commande à contre-réaction et sur les modèles linéaires temps invariant. Ces éléments sont formalisés et unifiés à travers la définition du modèle standard proposé par J.C. Doyle en 1983. L'hypothèse linéariste est évidemment restrictive mais est souvent faite en pratique. De plus, les modèles LTI sont des objets mathématiques bien caractérisés, simples à manipuler et pour l'étude desquels de nombreux outils mathématiques puissants sont disponibles. Cette simplicité n'est toutefois pas sans conséquences sur la précision relative de ce modèle et sur sa représentativité du système physique réel. Il est donc judicieux d'adjoindre au modèle LTI un modèle mathématique de l'incertitude représentant l'écart entre la réalité physique et le modèle mathématique simplifié définissant ainsi une problématique nouvelle en Automatique.

Le modèle incertain et sa structure étant fixés, l'objectif principal de la structure de commande est d'assurer la stabilité de la boucle fermée ainsi qu'un certain degré de performance pour l'ensemble des réalisations possibles du modèle incertain. Il s'agit donc de réduire la sensibilité de la structure de commande en présence des variations paramétriques et d'éventuelles perturbations affectant le modèle du système à commander. La notion de performance pour un système dynamique est une notion elle-même extrêmement versatile qui recouvre de très nombreuses caractérisations différentes dans la littérature. Cette pluralité s'explique fondamentalement par le développement historique des méthodes modernes de commande. Ainsi, la séparation entre domaines fréquentiel et temporel a conduit à des développements séparés et complémentaires des méthodes de commande associées jusque dans les années 80. La notion de robustesse intrinsèquement contenue dans toutes les approches fréquentielles (contre-réaction, marges de stabilité...) n'est plus centrale dans le cadre imposé par l'espace d'état. L'avènement du formalisme d'état et des problématiques liées à la commande optimale a ainsi occulté l'impératif de robustesse au profit de l'optimisation de la performance définie par un critère agrégé. Ce n'est qu'au tournant des années 80 avec les interrogations concernant les propriétés de robustesse du régulateur LQG (paradigme moderne de la commande optimale en boucle fermée), que les bases du cadre de travail  $H_\infty$  ont été posées. Face aux insuffisances de la théorie de Wiener-Hopf-Kalman, la nécessité d'une théorie de la commande optimale incluant *a priori* les questions relatives aux incertitudes de modélisation et à celles liées aux perturbations externes s'est fait rapidement sentir. Institué au rang de paradigme central de la commande robuste moderne, le problème de commande  $H_\infty$  devait fournir le cadre de la réconciliation entre performance optimale et propriétés de robustesse. En rendant de nouveau centrale la notion d'incertitude décrite dans le domaine fréquentiel, Zames a alors introduit la norme  $H_\infty$  qui sert d'outil fondamental pour la spécification de l'amplitude d'incertitude acceptée et conjointement pour la spécification du niveau de performance entrée-sortie.

Pour autant, on sait depuis lors que la commande  $H_\infty$  n'apporte pas une solution définitive à cette difficile problématique, en particulier quand l'incertitude est modélisée de manière paramétrique. Malgré ses limitations, la problématique  $H_\infty$  a doublement contribué au développement de la théorie de la commande robuste en tant que champ autonome de recherches. La définition du problème standard directement lié au cadre  $H_\infty$  a permis l'unification d'approches relativement décorréliées (méthodes fréquentielles classiques, théorie de Wiener-Hopf-Kalman) et la constitution de la problématique d'analyse robuste, complémentaire de la problématique de synthèse.

Historiquement, les méthodes permettant d'aborder les problèmes de synthèse et d'analyse des systèmes de commande élaborés dans ce cadre ont en premier lieu fait appel aux champs mathématiques traditionnels : théorie des fonctions analytiques et de l'interpolation analytique de Nevanlinna-Pick-Schur, théorie des opérateurs. Devant les difficultés rencontrées pour étendre ces techniques au cas multivariable, les premières méthodes dans l'espace d'état, fondées sur les factorisations copremières et spectrales ont permis de reformuler le problème initial comme un problème de distance de Nehari/Hankel dont la solution est obtenue par résolution d'équations de Riccati. Parallèlement, la théorie de Lyapunov est utilisée afin d'aborder les problèmes d'analyse et de synthèse robustes en stabilité dans un contexte purement temporel défini par le formalisme d'état en reformulant explicitement certains problèmes de synthèse comme des problèmes d'optimisation convexe dans un espace de paramètres de synthèse particulier. Les motivations pour rapprocher théorie de l'optimisation et commande robuste apparaissent donc fondées historiquement par le développement propre de la thématique commande robuste.

De nombreuses méthodes systématiques de synthèse et d'analyse robustes ont alors été développées avec le souci d'y associer des procédures de résolution numérique adéquates et performantes. Cela a permis ainsi de définir un cadre unifié allant de la modélisation incertaine à l'analyse et la synthèse de lois de commande robuste. Malgré ce corpus théorique important, de nombreux problèmes théoriques sont encore ouverts et n'ont pas encore trouvés de solution analytique complète ou de solution numérique satisfaisante. En premier lieu, la formulation des problèmes d'analyse et de synthèse robustes modernes induisent nécessairement l'expression de nombreuses spécifications antagonistes impliquant des compromis et posant le problème fondamental de l'existence de lois de commande satisfaisant ces exigences. Même si les méthodes classiques ont montré leur capacité à gérer des objectifs conflictuels, cette capacité ne va pas au delà d'un degré de complexité relativement faible (peu de paramètres). De manière très naturelle, les progrès dans la définition des performances accessibles et dans la résolution des questions d'existence impliquent nécessairement la mise en œuvre de processus d'optimisation. La pente naturelle est donc de reformuler les problèmes d'analyse et de synthèse robustes comme des problèmes d'optimisation et d'y associer des méthodes numériques de résolution nous assurant de résoudre ainsi la question de l'existence et le problème de la construction de la loi de commande. La différence entre résultats forts et résultats faibles se manifeste alors au travers du caractère unique et global des solutions et au travers de la complexité calculatoire (temps polynomial ou exponentiel) des algorithmes de résolution associés. La théorie de l'optimisation permet de répondre simplement et synthétiquement à ces questions par la convexité ou non convexité des problèmes d'optimisation associés. Dans l'état actuel des développements en optimisation, la convexité constitue la frontière séparant les problèmes faciles des problèmes difficiles.

Outre les approches théoriques issues du périmètre scientifique historique du groupe, une ouverture vers les mathématiques appliquées (théorie de l'optimisation, théorie des systèmes à paramètres répartis) est donc privilégiée. Cette ouverture correspond d'une part à un souci des industriels chez lesquels les outils classiques de la commande robuste sont maintenant bien introduits et d'autre part à une volonté du groupe d'aborder des modèles et des phénomènes plus complexes.

## **2 - Organisation et composition**

### **2.1 – Fonctionnement**

Le fonctionnement du groupe est fondé sur l'organisation de journées (une ou deux journées) ordinaires (une journée) et ordinaires/thématiques (deux journées) qui peuvent être itinérantes. Afin de minimiser les coûts de déplacement et maximiser le taux de fréquentation des journées ordinaires uniques, les journées doubles sont généralement organisées dans un laboratoire hôte alors que les journées simples sont organisées à Paris. Pendant chacune des journées et après appel à communications, 4 à 6 exposés sont présentés sur un mode informel permettant les échanges scientifiques directs. Un créneau est généralement

réservé à un exposé de type tutoriel permettant ainsi la diffusion de la culture scientifique du groupe en direction du monde académique, en particulier les doctorants, et des acteurs industriels le fréquentant.

Les réunions sont annoncées sur le site <http://www.laas.fr/MOSAR> qui contient également une archive des transparents des exposés. Le site du groupe de travail contient également une rubrique consacrée aux offres d'emploi, aux sujets de thèse et de post-doctorat. Dans un proche avenir, des liens vers des outils et documentations devraient être inclus.

## **2.2 – Composition du groupe**

Le groupe peut revendiquer un nombre de 382 inscrits au 16/12/2008 (100 inscrits supplémentaires depuis deux ans) se répartissant dans une cinquantaine d'équipes et composés pour un tiers de doctorants et pour deux tiers de membres permanents. La moyenne de fréquentation des réunions du groupe est de 26 personnes.

Les participants actifs (ayant présenté leurs travaux) se répartissent en :

- Partenaires académiques : Académie des sciences de Russie, IRCCyN Nantes, LAAS-CNRS Toulouse, LAG Grenoble, LAPS Bordeaux, LSIIT Strasbourg, MIPS Mulhouse, Politecnico di Milano, PRISME Bourges, SUPAERO Toulouse, Supelec Service Automatique Gif/Yvettes, Université de Lescoster...
- Partenaires para-Industriels : CNES, ONERA
- Partenaires industriels : ASTRIUM.

## **3 - Bilan et prospectives**

### **3.1 – Synthèse**

Lors des deux dernières années, le GT MOSAR a poursuivi la politique d'ouverture initiée précédemment. La première journée commune a été consacrée à la thématique de l'identification pour la commande. En effet, les développements récents en commande robuste s'appuient sur des structures de modèles qui sont parfois peu prises en compte en identification (par exemple l'identification de modèle incertain sous forme de LFT). Inversement, les résultats récents en identification peuvent être un apport précieux pour l'automaticien en charge de la synthèse de lois de commande robustes. C'est notamment le cas des modèles LPV. Cette journée a montré que ce sujet est central pour les deux communautés. L'organisation de journées communes avec le GT MOSAR devraient se faire à intervalle régulier, par exemple tous les 2 ans.

Une journée commune avec les GdR Robotique et MNS (Micro et Nano Systèmes) a été organisée le 22 janvier 2009 à Besançon sur le thème de la Commande pour le Micro-Monde. Cette journée est le fruit d'un contact avec différentes personnes impliquées dans le GT3 du GdR Robotique et notamment Stéphane Rénier et Yacine Haddab. Le micro-monde présente des caractéristiques spécifiques qui rendent la réalisation des tâches relativement difficile. Citons notamment l'importance des effets non-linéaires (hysteresis, collage), le niveau de bruit élevé, les dérives (creep) ainsi que sensibilité aux perturbations extérieures. L'objectif de cette journée est de permettre à différentes communautés de se rencontrer autour des problèmes de la commande dans le micro-monde, espérant susciter des collaborations fructueuses. Les aspects traités concernent :

- mieux comprendre le comportement dans le micro-monde (caractérisation, modélisation, identification),
- les capteurs et actionneurs dédiés,
- l'observation de grandeurs non mesurables,
- les méthodes de synthèse de correcteurs et d'analyse de la robustesse, permettant notamment de prendre en compte des non-linéarités,
- présentations de problèmes de commande de micro-systèmes.

Une Journée thématique « Stratégies de commande variant dans le temps et application spatiales » est en cours d'organisation avec le CCT Systèmes de Commande et Automatique du CNES, prévue les 4 et 5 juin

2009. L'objectif de cette journée est d'échanger sur des techniques associant robustesse et capacités d'adaptation en particulier dans le cas de suivi de trajectoires pour les systèmes aérospatiaux. Des techniques telles que la commande LPV (Linéaire à paramètres variants), la commande hybride à sauts ou la commande linéaire périodique pourront être abordées, tout comme des techniques non-linéaire de commande adaptative. La question de l'estimation des paramètres de séquençement des contrôleurs sera également envisagée.

### 3.2 – Programme des journées et sessions

Au cours des 9 réunions tenues depuis janvier 2006, 66 exposés ont été faits.

#### Journées du 17 mars 2006 : (Accueil G. Duc)

36 participants. Lieu : Supelec, Gif sur Yvette

1 journée ordinaire, 6 exposés :

- C. Kulcsár, H.F. Raynaud, (L2TI, Paris) *Commande optimale par approche d'état en optique adaptative*
- N. Maamri, D. Mehdi, J.C. Trigeassou, (LAI, Poitiers) *Synthèse de retour de sortie avec spécifications temporelles et fréquentielles : approche LMI*
- C. Prieur, L. Baudouin, D. Arzelier, (LAAS-CNRS, Toulouse) *Commande robuste de miroirs pour l'optique adaptative : une approche EDP*
- L. Praly, (CAS-Ecole des Mines, Paris) *Stabilité entrée-état : définitions et applications (Survey)*
- E. Laroche, L. Cuvillon, J. Gangloff, M. de Mathelin, (LSIT-Université Louis Pasteur, Strasbourg) *Asservissement visuel de structures articulées avec flexibilités*
- S. Olaru, D. Dumur, (Supelec, Gif sur Yvette) *Lois de commande prédictive robustes : une approche par polyèdres paramétrés*

#### Journée du 18 mai 2006 :

15 participants. Lieu : LAAS-CNRS, Toulouse

1 journée thématique : « *Delays and robustness* » (5 exposés) :

- G. Meinsma, (University of Twente, Twente) *Multiple delays in  $H_2$  and  $H_\infty$  control*
- H. F. Raynaud, F. Floret, C. Kulcsár, B. Lebeau, (L2TI, Paris) *Non-linear state-space models for congestion control in data transmission networks*
- O. Séname, (LAG-ENSIEG, Grenoble) *An LPV/ $H_\infty$  active suspension control for global chassis technology: design and performance analysis*
- F. Gouaisbaut, (LAAS-CNRS, Toulouse) *Delay-dependent stability analysis of linear time delay systems*
- L. Mirkin, (Faculty of Mechanical engineering, Technion) *An opinionated view on delay robustness*

#### Journées du 09-10 novembre 2006 :

30 participants. Lieu : LIRMM, Toulouse

Titre : « *Commande robuste en robotique* » (13 exposés) :

- M. Sauvée, P. Pognet, E. Dombre, (LIRMM Montpellier) *Commande prédictive non linéaire pour l'asservissement visuel 2D*
- S. Bertrand, T. Hamel, (ONERA-I3S, Nice), H. Piet-Lahanier (ONERA DPRS/SAGP, Chatillon) *Commande prédictive non linéaire et commande sans mesure de vitesse*
- M. de Mathelin, L. Barbé, B. Bayle, (LSIT, Strasbourg) *Insertion d'aiguille robotisée avec retour d'effort dans les tissus mous*
- P. Danès, (LAAS-CNRS, Toulouse), D. Bellot, (LRP, Paris) et D. F. Coutinho, (PUCRS, Rio) *Systèmes rationnels et inégalités matricielles pour l'asservissement visuel multicritères et la localisation visuelle*
- B. Gao, S. Tarbouriech, P. Souères, (LAAS-CNRS, Toulouse) *Commande référencée vision en présence d'incertitudes et de contraintes : application à l'enchaînement de tâches*
- J.M. Pflimlin, P. Souères, (LAAS-CNRS, Toulouse), T. Hamel, (I3S, Nice) *Commande d'un minidrone à hélice carénée: de la stabilisation dans le vent à la navigation autonome*
- L. Lapierre, (LIRMM, Montpellier) *Commande en robotique sous-marine : solutions existantes et problèmes ouverts (Survey)*
- P. Morin, (INRIA, Sophia-Antipolis) *Les problèmes de robustesse dans la commande des systèmes non linéaires critiques*

- *A. Chaillet, (Université de Pise, Italie) Approche cascade pour l'analyse de la stabilité et de la robustesse des systèmes dynamiques non linéaires : application aux systèmes mécaniques*
- *I. Fantoni, F. Kendoul, (HeuDiasyc, Compiègne) estimation du flux optique pour la commande de drones : approche utilisant des filtres de Kalman en cascade pour le calcul du flux optique, le mouvement du véhicule aérien et la détection d'obstacles*
- *M. Defoort, T. Floquet, W. Perruquetti, (LAGIS, Lille) Commande robuste de robots mobiles par mode glissant, vers un ménage à plusieurs ?*
- *F. Le Bras, (DGA/DET/LRBA, Vernon) Asservissement visuel 2D appliqué aux drones de type VTOL. Cadre théorique et expérimentation pratique sur le minidrone HoverEye*
- *P. Fraisse (LIRMM, Montpellier) Etude et analyse d'un algorithme de commande robuste pour le muscle strié squelettique : application à la commande d'un genou d'un patient paraplégique*

**Journées du 22-23 mars 2007 : (Accueil D. Matignon)**

40 participants. Lieu : ENST, Paris

Réunion conjointe avec le GT EDP

2 journées thématiques : « *De la robustesse dans les EDP* »

11 exposés

- *D. Matignon, (ENST, CNRS UMR 5141, Paris) Réalisations de systèmes adaptées à l'étude de la stabilité de certaines EDP : exemples et questions ouvertes*
- *M. Gugat, (IMA, Erlangen), M. Sigalloti, (INRIA-IEC, Nancy), M. Tucsnak, (IEC, Nancy) Sur l'influence d'un feedback en position sur la robustesse du contrôle frontière d'une corde*
- *E. Crépeau, (Equipe de Mathématiques Appliquées, Versailles) Contrôlabilité exacte de l'équation de Korteweg-de Vries non linéaire*
- *S. Dharmatti, J.P. Raymond, (MIP, Toulouse)  $H_\infty$  feedback boundary stabilization of the two dimensional Navier-Stokes equations*
- *C. Prieur, (LAAS-CNRS, Toulouse), G. Bastin, (Université Catholique, Louvain-la-Neuve), J. Winkin, (Université de Namur, Belgique), V. Dos Santos, (Université de Lyon, Lyon) Contrôle frontière d'un système non-homogène d'équations de lois de conservation : aspects théoriques, numériques et expérimentaux*
- *C. Casenave, G. Montseny, (LAAS-CNRS, Toulouse) Formulation diffusive de certains problèmes dynamiques*
- *S. Mottelet, (Université de Compiègne, Compiègne) Stabilisation d'un système perturbé par un couplage fluide-structure*
- *A. Quadrat, (INRIA, Sophia-Antipolis) Factorisation et décomposition des systèmes linéaires fonctionnels*
- *P. Rouchon, (CAS-Ecole des Mines de Paris, Paris) Contrôlabilité des systèmes quantiques de type spin-ressort*
- *M. Peet, (INRIA, Rocquencourt) On the construction of positive quadratic forms using semidefinite programming*
- *C. Bonnet, (INRIA, Rocquencourt) Stabilisation  $H_\infty$  de systèmes fractionnaires à retard de type neutre*

**Journées 20-21 Septembre 2007 - École des Mines de Nantes (accueil P. Chevrel)**

Journée thématique « *Approches LPV et gain-scheduling* » (20 septembre), 25 participants

- *Tutorial sur les approches LPV en commande, P. Chevrel, IRCCyN, Mines des Nantes*
- *Systèmes LPV rationnels et réalisations implicites affines : analyse et commande, A. Bouali, M. Yagoubi, P. Chevrel, IRCCyN, Mines des Nantes*
- *Synthèse polynomiale LPV, W. Gilbert, D. Henrion, LAAS, Toulouse*
- *Contrôle latéral de l'avion au sol par une approche antiwindup à paramètres variants, C. Roos, J.M. Biannic, ONERA-DCSD*
- *Cas d'étude Astrium Satellites pour la commande LPV, M. Dinh, ASTRUM*
- *Synthèses H-infini pour les systèmes LPV dans le cadre de la commande de châssis automobiles, C. Pousot, O. Sename, L. Dugard, Gipsa-lab, Grenoble*
- *Robustesse de la commande adaptative directe : résultats LMI, D. Peaucelle, A. Fradkov; LAAS, Toulouse~; Institute for Problem of Mechanical Engineering, Académie des sciences de Russie, St Petersburg, Russie*
- *Missile Autopilot Design : Gain-Scheduling and the Gap Metric, S. Theodoulis, G. Duc, SUPELEC, Gif-sur-Yvettes*

**15 Février 2008 - ENSIEG - Grenoble (accueil O. Sename)**

Journée ordinaire (25 participants)

- *Delay-Scheduled Controllers for time-delay systems with Time-Varying delays - A LPV approach, C. Briat, O. Sename, J.-F. Lafay, GIPSA lab, Grenoble*

- Synthèse convexe auto-séquencée pour un modèle LFT, G. Ferreres, ONERA-CERT, Toulouse
- Multisensor switching strategy for Fault-Tolerant Control, J. Martinez, M. Seron, J. De Dona
- Synthèse d'une loi de commande par retour de sortie robuste, suivant une heuristique de recherche basée sur une formulation à la Kalman, T. Rosario, P. Lyonnet, LTDS/ENISE, Saint-Etienne
- Pilotage d'un véhicule de rentrée par des techniques de séquençement de gain, S. Theodoulis, G. Duc, SUPELEC, Gif-sur-Yvette

#### **26 Juin 2008 - ENSAM - Paris**

Journée thématique « Identification et commande » organisée conjointement avec le GT Identification (26 participants)

- Modèles LTI incertains en commande robuste, D. Peaucelle, LAAS, Toulouse
- Estimation garantie d'état dans un contexte à erreurs bornées, C. Jauberthie-Salsmann, LAAS, Toulouse
- LPV model identification: overview and perspectives, M. Lovera, Politecnico di Milano
- Computation of an LFT, possibly LPV, model using state-space or I/O data, G. Ferreres, ONERA/CERT, Toulouse

#### **4 septembre 2008 – CIFA 2008 – Bucarest**

Session invitée « Commande Robuste »

- Commande robuste des systèmes multi-entrées multi-sorties non-carrés retardés, Dominique Nelson Gruel, Patrick Lanusse, Alain Oustaloup, LAPS, Bordeaux
- Contrôle de l'impédance mécanique d'un organe de commande actif, Baziz Atik, Daniel Alazard, Cédric Antraygue, ONERA/DCSD, Toulouse
- Asservissement d'un stabilisateur cardiaque actif, Wael Bachta, Edouard Laroche, Pierre Renaud, Jacques Gangloff, LSIT, Strasbourg
- Optimisation par essaim particulaire du réglage d'un correcteur H-infini, Guillaume Sandou, Gilles Duc, Dominique Beauvois, SUPELEC, Gif-sur-Yvette
- Commande robuste d'une pince microfabriquée à actionnement électrostatique, Yassine Haddab, Basile Ucheddu, FEMTO-ST, Besançon
- Modélisation et commande robuste d'un réacteur de dénitrification de type biofiltre, Ixbalank Torres, Isabelle Queinnec, LAAS, Toulouse (exposé présenté en session « Génie des procédés, environnement et science du vivant »)

#### **22-23 janvier 2008 – ENSMM – Besançon (accueil Y. Haddab)**

Journée thématique « commande dans le micro-monde » organisée conjointement avec le GdR Robotique et le GdR Micro et Nano Systèmes

- Quelques problèmes de commande dans le micromonde, Y. Haddab
- Commande robuste et non-linéarités, G. Garcia
- Analyse et Commande de Microscope à Effet Tunnel (STM), I. Ahmad, A. Voda, G. Besançon
- Contrôle de nano-mouvement par courant tunnel, S. Blanvillain, A. Voda, G. Besançon
- Contrôle Robuste H-infini d'un Micromanipulateur Piezo-electrique pour l'Injection Intracellulaire, H. Ladjal et A. Ferreira
- Vers l'optimisation de l'intégration fonctionnelle des systèmes micromécatroniques pour la commande robuste, M. Grossard, M. Boukallel, C. Libersa, N. Chaillet, A. Hubert.
- Estimation de micro et nano forces en régime dynamique à l'aide de dispositifs magnétiques actif et passif, A. Cherry, J. Abadie, M. Piat.
- Visite des activités micro-robotique de FEMTO-ST
- Modélisation et commande robuste pour le maintien à poste de la roue interférométrique par frottement différentiel, D. Arzelier, A. Théron
- Contrôle de la trajectoire d'un véhicule automobile, G. Pita Gil, E. Godoy, D. Dumur, S. Cregut, M. Marsilia
- Application de la commande robuste dans le domaine aéronautique, G. Pouly, J.-Ph. Lauffenburger et M. Basset.
- Ensembles invariants et commande robuste appliqués à l'assistance au maintien de voie, N. Minoiu Enache, K.L.R. Talvala, S. Mammam, C.J. Gerdes, B. Lusetti, M. Netto
- De l'identification à la commande d'un volant à retour d'effort actif, B. Atik, D. Alazard, C. Antraygue
- Commande H-infini prédictive pour l'asservissement par vision d'un stabilisateur cardiaque actif, W. Bachta, E. Laroche, P. Renaud, J. Gangloff.

### 3.3 – Prospectives

Les prospectives du groupe de travail s'appuient sur trois aspects complémentaires et imbriqués : la question de la modélisation incertaine des systèmes ; les méthodes et outils ; la conception de lois de commande. Dans chacun des cas, ces aspects combinent questions théoriques et appliquées.

Concernant le premier aspect de modélisation : Comme rappelé précédemment, le paradigme de la commande robuste est historiquement lié à la nécessité de tenir compte d'approximations faites lors de la modélisation, en particulier quand on linéarise les comportements des procédés autour de points de fonctionnement. Même si cette démarche est plus ou moins codifiée dans certains cas simples (incertitudes paramétriques, systèmes invariants dans le temps, comprenant peu de non linéarités...), il convient de l'enrichir pour tenir compte de phénomènes plus complexes. Dans ce but, le groupe de travail portera une attention particulière aux travaux de modélisation d'applications et incitera à l'utilisation du concept d'incertitude comme alternative aux modèles très précis mais souvent inutilisables en pratique pour des questions de tailles ou de complexité numérique. Cette démarche accompagnera ainsi une ouverture souhaitée vers de nouveaux champs applicatifs comme les biotechnologies et les sciences du vivant, la commande dans le micro monde ou les robots agiles et se fera autant que possible en interaction avec d'autres groupes de travail du GdR ou d'autres GdR.

Le second aspect concernant les méthodes et les outils est lui fortement ancré dans la culture de la commande robuste et dans les activités internes au groupe. Il s'agit là de suivre et animer les développements de nouveaux résultats théoriques par exemples sur des problématiques clés telles que : réduction du pessimisme, méthodes de complexité numérique maîtrisée, prise en compte de variations dans le temps, robustesse de systèmes non-linéaires. La diffusion de ces techniques nouvelles sera une de nos préoccupations principales, que ce soit au travers de publications (participation à des sessions dans des conférences, numéros spéciaux dans des journaux) comme au travers d'outils logiciels. Ce dernier point est, il nous semble, d'importance tant pour la diffusion de résultats aux collègues travaillant sur des applications (applications de recherche ou industrielles) comme pour la possibilité de faire des comparaisons scientifiques entre méthodes. Nous encouragerons ainsi les participants au groupe de travail à produire ce type d'outils logiciels et en ferons la promotion au travers du site du groupe de travail.

Le troisième aspect porte sur les lois de commande. Autant dans le cas de systèmes linéaires invariants dans le temps il est naturel (et suffisant) d'envisager des lois de commandes linéaires invariantes dans le temps, autant à mesure que les techniques de commande robuste s'étendent aux systèmes de plus grande complexité les algorithmes de commande à considérer entre dans la catégorie des systèmes adaptatifs, hybrides, périodiques etc. L'enjeu sur cet aspect est triple : accompagner les résultats théoriques qui intègrent ces aspects de commande non linéaire et à temps variant tout en assurant la robustesse de la boucle fermée ; tenir compte de contraintes d'implémentation comme les capacités de calcul des dispositifs de commande ou la fragilité ; avoir un retour d'expérience sur les caractéristiques des commandes complexes réalisées sur des applications. Outre l'animation de discussions scientifiques sur ces questions, nous encouragerons dans le cadre des séminaires du groupe de travail les exposés d'industriels portant sur difficultés de réalisation de lois de commande et les façons qu'ils ont pu avoir pour les contourner.

### 3.4 – Actions à venir

Le GT MOSAR compte poursuivre ses missions d'animation suivant différentes pistes :

- poursuivre l'animation de la communauté française de la commande robuste,
- continuer d'organiser une partie des journées en commun avec d'autres structures, soit internes au GdR MACS, soit externes. Il s'agit d'aller en direction des autres communautés Automatique traitant de problèmes connexes et d'aller en direction de secteurs applicatifs. À ce titre, une réunion du groupe sur les thématiques de l'aéronautique et du spatial est prévue en Avril-Mai en commun avec le CNES,
- proposer un numéro spécial pour la revue JESA en 2009,
- fédérer les contributions pour le développement de boîtes à outils intégrant les résultats disponibles.

# PRESENTATION DU GROUPE DE TRAVAIL

## RDP : RESEAUX DE PETRI

PATRICE MOREAUX<sup>1</sup>, THOMAS BOURDEAUD'HUY<sup>2</sup>

<sup>1</sup> LISTIC, Université de Savoie ESIA, BP 806, 74016 Annecy Cedex, [patrice.moreaux@univ-savoie.fr](mailto:patrice.moreaux@univ-savoie.fr)

<sup>2</sup> LAGIS Ecole Centrale de Lille BP 48 59651 Villeneuve D'Ascq, [thomas.bourdeaud\\_huy@ec-lille.fr](mailto:thomas.bourdeaud_huy@ec-lille.fr)

<http://www3.ec-lille.fr/~rdp/>

Les premiers animateurs de groupe, **Isabel Demongodin** et **Pascal Yim**, ont confié l'animation du groupe à **Mourad Abed** et **Patrice Moreaux** en novembre 2005 à l'occasion des cérémonies organisées en l'honneur de l'Honoris Causa de Manuel Silva à Reims. Le groupe a alors une période transitoire durant laquelle aucune réunion n'a été organisée en dehors des journées nationales MACS. Lors des journées nationales MACS de novembre 2006, l'animation du groupe a été confiée à **Patrice Moreaux** et **Thomas Bourdeaud'huy**. La description qui est faite ici concerne principalement les activités du groupe depuis cette date.

## 1. Présentation scientifique

### Contexte

Les réseaux de Petri (P/T nets) sont un formalisme mathématique (basé sur les graphes bipartis orientés) qui a été défini dans le début des années 60. Ils se prêtent particulièrement à la spécification et la modélisation des systèmes à événements discrets et donc au développement de systèmes distribués et concurrents. Ayant une sémantique comportementale, ils sont utilisés pour modéliser de manière non ambiguë la dynamique de toute spécification et description d'applications ou de systèmes. Mais avant toute chose, ils permettent de simuler cette dynamique et surtout, par des techniques d'analyse et de vérification (model-checking), de rechercher des propriétés comme l'interblocage, la vivacité, la famine, etc.. Ils garantissent ainsi une meilleure fiabilité du produit à réaliser et assurent un gain d'effort significatif dans la réalisation de tels systèmes grâce à la réduction du nombre de tests de l'application qui est développée. Les réseaux de Petri font aussi l'objet d'applications industrielles dans les domaines des protocoles et systèmes de télécommunication, des ateliers flexibles de production et de logistique, des architectures à base de microprocesseurs, des transports, des banques, ...

Les méthodes d'analyse ne sont cependant efficaces que si elles sont implémentées par des outils permettant l'automatisation du processus d'analyse et pouvant aussi assurer la génération automatique de code. Citons les outils, CPN-AMI, GreatSPN, PEP, CPNtools.

L'utilisation des réseaux de Petri pose néanmoins des difficultés pour la réalisation de systèmes de taille significative, car le concepteur d'application est rapidement confronté à l'explosion combinatoire du nombre d'éléments à traiter. Les réseaux de haut niveau (HL-nets) ont été définis pour résoudre ces problèmes en introduisant des concepts de haut niveau comme l'utilisation de structures de données complexes exprimées par exemple au moyen d'expressions algébriques. Il faut aussi savoir qu'il existe différentes variantes et extensions des réseaux de Petri qui introduisent les notions de temps, de probabilités, etc.

On assiste ainsi à un foisonnement de nouveaux modèles, outils et techniques. Plusieurs approches de recherche se complètent par conséquent. Une communauté scientifique internationale s'est constituée autour de l'étude des fondements et des applications des réseaux de Petri (congrès internationaux, newsgroups, newsletter, ...) et organise la conférence annuelle ICATPN.

Toutes les informations sur les activités de la communauté peuvent être consultées sur le site <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/>. On peut notamment y trouver des références sur

des outils à télécharger, une bibliographie très complète, les conférences en rapport avec les réseaux de Petri. En France, cette communauté concerne plusieurs laboratoires de recherche (CEDRIC-CNAM, CRAN, GREAH, INRIA Loraine, IRISA, LAAS, LAGEP, LAGIS, LAMIH LAMSADE, GIPSA-Lab, CRÉSTIC, LERI, LGI2A, LIAFA, LIHS, LIP6, LIPN, LIRMM, LISI-ENSMA, LISTIC, IRCCyN, IRIT...) regroupée autour du groupe francophone sur les réseaux de Petri rattaché au GdR MACS.

### **Objectifs du groupe**

Les objectifs du groupe RdP sont multiples. D'une part, de nombreux jeunes chercheurs éprouvent le besoin de confronter leurs travaux dans le cadre d'une communauté nationale. D'autre part, la capitalisation de la connaissance sous forme de modèles bien établis devient cruciale pour de nombreux industriels. Enfin, les travaux de la communauté française pourraient avoir plus d'impact dans la communauté internationale si une structure pouvait faciliter les échanges et les collaborations entre chercheurs et développeurs francophones. Ainsi, le groupe RdP se donne pour objectifs de :

- Mettre en contact des équipes travaillant sur des problèmes similaires, avec des approches différentes ;
- Proposer des "états de l'art" sur une thématique concernant les RdPs ;
- Échanger des résultats et des idées sur des travaux de recherche en cours.

Une des spécificités du groupe Réseaux de Petri est sa pluridisciplinarité « Automatique – Productique - Informatique ». Généralement, les équipes de recherche travaillant sur les RdPs sont plus particulièrement spécialisées dans une approche spécifique : fondements, outils, applications, modélisation, analyse, ... D'autre part, plusieurs champs disciplinaires sont concernés : informatique fondamentale ou appliquée, automatique du discret ou du continu, productique ... Il convient de souligner la complémentarité de ces approches et la fécondité de la synthèse des différents résultats. En ce sens, il semble plus intéressant de réunir les différentes composantes de la communauté de recherche travaillant sur les RdP, plutôt que de diviser le groupe de travail en sous-groupes thématiques distincts. De plus, les réseaux de Petri étant à la fois un outil de modélisation et de commande, le groupe RdP est membre des axes MEMO (Modélisation, Évaluation et Méthodes d'Optimisation) et SC1 (Systèmes de Commande 1 : théories et méthodes) du GDR MACS. Finalement, il faut noter que le groupe RdP souhaite ne pas traiter exclusivement de modèles Réseaux de Petri mais s'intéresse également aux autres modèles de systèmes à événements discrets comme les automates, les algèbres de processus, etc.

## **2. Organisation**

### **Réunions**

Quatre à cinq réunions par an sont prévues (dont deux lors des journées nationales MACS). Elles se déroulent généralement le vendredi de 10H à 17H à Paris (CNAM, LIP6, autre laboratoire), de manière à permettre à chacun de participer à la réunion sans engager plus d'une journée de travail, transport compris. Les exposés durent en général 40 minutes, suivis de 20 minutes de questions de façon à permettre une discussion approfondie. Cette organisation permet de placer jusqu'à 5 exposés par journée.

- La traditionnelle journée « jeunes chercheurs » est organisée en janvier, entre le passage des thèses et les résultats de qualification. Elle permet aux nouveaux docteurs de présenter leurs travaux à la communauté.
- Les autres journées sont organisées autour d'un thème spécifique, avec en général un ou deux exposés de synthèse, suivis d'exposés de recherche.
- Les journées nationales MACS sont l'occasion de nous réunir avec d'autres groupes de travail (par exemple INCOS à La Rochelle le 16 mars 2007). Elles permettent de cibler plus spécifiquement la communauté « automatique » du GDR Macs.

Lors de chaque réunion, un temps spécifique est consacré aux annonces et aux discussions autour de l'animation du groupe. C'est à ce moment que se décident les thèmes des prochaines réunions, ainsi que les perspectives du groupe.

## Serveur

Le site web du groupe (<http://www.ec-lille.fr/~rdp>) présente les résumés des exposés des précédentes réunions ainsi que le sommaire des prochaines rencontres. D'autres rubriques sont mises à jour suivant l'actualité de la communauté, avec notamment les conférences à venir, les thèses soutenues récemment dans le domaine, des références d'ouvrages de synthèse, et divers liens sur d'autres sites. Il est prévu d'ajouter de nouvelles rubriques, comme indiqué dans la section « perspectives ».

## Liste de Diffusion

Suite à la reprise du groupe, nous utilisons temporairement plusieurs listes de diffusion électronique. La liste présentée comme « officielle » sur notre site est celle du GDR MACS. La communauté « informatique » est également touchée par une liste de diffusion constituée au fur et à mesure des réunions. Nous envisageons à court terme de reprendre en charge une liste de diffusion spécifique qui permette de simplifier la gestion des envois de mail.

## Délivrables

D'un point de vue des « délivrables », nous avons noté avec intérêt la proposition de « fiches-outils » du GDR Macs. Nous pensons participer à la rédaction de telles fiches concernant les réseaux de Petri et leurs extensions. La relative « jeunesse » du groupe depuis sa renaissance ne nous a pas permis de nous lancer dans l'organisation de sessions spéciales de congrès ou de journaux. Nous commençons par recenser les problématiques communes aux participants du groupe de manière à proposer des sujets qui emporteront l'adhésion du plus grand nombre.

## Relations

Du fait du caractère formel des Réseaux de Petri, ce formalisme est naturellement utilisé lors de la spécification et la vérification de logiciel. De ce fait, nous nous sommes rapprochés de deux groupes francophones traitant du sujet de manière à conjuguer nos efforts.

- Le groupe **MEFOSYLOMA** (Méthodes Formelles pour Les Systèmes Logiciels et Matériels - <http://mefosyloma.cnam.fr>), que nous avons rejoints lors de la réunion du 19 janvier ;
- L'action transversale **AFSEC** du CNRS (Approches Formelles pour les Systèmes Embarqués Communicants - [www.afsec.asr.cnrs.fr](http://www.afsec.asr.cnrs.fr)), de laquelle nous nous sommes rapprochés pour partager les annonces et organiser une réunion en juin autour des « outils ».

Nous avons également maintenu les bonnes relations que nous entretenons déjà avec le groupe **INCOS** du GDR MACS en organisant une réunion commune lors des journées du GDR Macs de La Rochelle.

## 3. Programme des journées et réunions organisées par le GT

Depuis la remise en route du groupe, quatre réunions ont été organisées. Nous avons constaté que la communauté RDP a su répondre présent rapidement, puisque dès la seconde réunion organisée à Paris, plus d'une trentaine de personnes étaient présentes.

### Programme des réunions

19 janvier 2007	Paris (10)	Travaux de jeunes chercheurs
Sami Evangelista Pierre Rousseau	CNAM, Paris	<i>Validation de programmes concurrents à l'aide de la plateforme Quasar</i>
Leila Toursi	IRCCYN, Nantes	<i>Optimisation du marquage dans les graphes d'événements généralisés: une métaheuristique basée sur l'algorithme du recuit simulé</i>
Laurent Houssin	LISA, Angers	<i>Commande de systèmes (max,+) linéaires contraints en minimisant l'effet de la correction</i>

Kurt Jensen	Univ. Aarhus, Danemark	<i>Introduction to two "smart" state space techniques (Programme MEFOSYLOMA)</i>
Alexandre Hamez	LIP6, Paris	<i>Distributed model checking with libDMC (Programme MEFOSYLOMA)</i>
<b>16 mars 2007</b>	<b>La Rochelle (10)</b>	<b>Reconfiguration &amp; Diagnostic avec les RdPs (Journée commune avec le groupe INCOS)</b>
Sébastien Henry, Eric Deschamps, Eric Zamaï, Mireille Jacomino	LIESP, Lyon GSCOP, Grenoble	<i>Synthèse de Lois de Commande pour la Configuration et la Reconfiguration des Systèmes Industriels Complexes</i>
Siegfried Soldani	LAAS, Toulouse	<i>Intermittent Fault Diagnosis in Discrete Events Systems</i>
Thomas Bourdeaud'huy Armand Toguyeni	LAGIS, Lille	<i>Reconfiguration à l'aide des Réseaux de Petri et de techniques d'Optimisation Combinatoire</i>
<b>23 mars 2007</b>	<b>Paris (32)</b>	<b>Modèles du temps réel: Réseaux de Petri temporisés et temporels, automates temporisés</b>
Olivier H. Roux	IRCCyN, Nantes	<i>Extensions temporelles des réseaux de Petri - temps sur les arcs, places ou transitions</i>
Benoit Trouillet	LAGIS, Lille	<i>Une approche formelle du comportement temporel d'une classe de réseau de Petri</i>
Serge Haddad	LAMSADE, Paris	<i>Réseaux de Petri temporels et Automates temporisés</i>
François Laroussinie	LSV, Cachan	<i>Model checking des SED temporisés</i>
Mohamed Khalid Didi ALaoui	ISTIA, Angers	<i>Modélisation, classification et analyse des graphes d'événements temporels: vivacité</i>
<b>23 novembre 2007</b>	<b>Aix en provence (6)</b>	<b>Ordonnancement et Réseaux de Petri (+ exposé dans la thématique du groupe INCOS)</b>
Ahmed Guadri	LAGIS, Lille	<i>Une architecture orientée composants pour la commande et reconfiguration des systèmes hybrides</i>
Claire Hanen	Université Paris X Nanterre / LIP6 UPMC	<i>Ordonnancements périodiques de graphes d'événements généralisés temporisés</i>
Abdelhak Guezzi	LISA Angers	<i>Temps de cycle des graphes d'événements P-temporel</i>
<b>14 mars 2008</b>	<b>Roanne (10)</b>	<b>Travaux de jeunes chercheurs</b>
Morgan Magnin	IRCCyN, Nantes	<i>La recherche de méthodes efficaces pour la vérification de réseaux de Petri à chronomètres en temps discret</i>
Fateh KAAKAI	Laboratoire Systèmes et Transport, UTBM	<i>Modélisation et évaluation des pôles d'échanges multimodaux par une approche hybride multiéchelle basée sur les réseaux de Petri lots</i>
Aurélien Corréta	Laboratoire Systèmes et Transport, UTBM	<i>Modélisation des conflits dans l'algèbre des dioïdes, application à la régulation de trafic dans les carrefours</i>
Redouane Kara	IRCCyN, Nantes	<i>Évaluation des Performances des graphes d'événements continus valués</i>
Olivier Boutin	IRCCyN, Nantes	<i>Modélisation de systèmes par des GET à temps incertains et applications dans un dioïde d'intervalles</i>

23 janvier 2009	Paris	Travaux de jeunes chercheurs
Vincent Augusto	Ecole des Mines, Saint-Etienne	<i>Modélisation, analyse et pilotage de flux en milieu hospitalier à l'aide d'UML et des réseaux de Petri</i>
Abdelhak Guezzi	LISA, Angers	<i>Deux approches pour calculer le taux de production des graphes d'événements temporisés</i>
Mohamed BOUALI	HeuDiaSyC, UTC Compiègne	<i>Méthodes d'analyse arrière des RdP colorés</i>

Le groupe RDP a également participé à la journée « outils » organisée par l'AFSEC le **22 juin 2007** à l'INSA de Lyon. Patrice Moreaux y a présenté un exposé sur le logiciel GreatSPN.

### Laboratoires participants

(depuis 2007 – sans tenir compte des personnes ayant assisté à la réunion du 19/01 au titre de MEFOSYLOMA)

1	CEDRIC	Paris	12	LAGIS	Lille
2	CRAN	Nancy	13	LESTER	Lorient
3	CRESTIC	Reims	14	LIESP	Lyon
4	GIPSA	Grenoble	15	LIP6	Paris
5	G-SCOP	Grenoble	16	LIRMM	Montpellier
6	HEUDIASYC	Compiègne	17	LISA	Angers
7	ICARE	Toulouse	18	LISTIC	Annecy
8	INRIA	Rhône Alpes	19	LSIS	Marseille
9	IRCCYN	Nantes	20	LURPA	Cachan
10	IRIT	Toulouse	21	UTBM	Belfort
11	LAAS	Toulouse			

### Soutien aux actions de normalisation des réseaux de Petri

Afin d'obtenir une meilleure organisation des travaux au sein de la communauté internationale, une réflexion sur la normalisation du formalisme a démarré dans le milieu des années 1985 en vue de produire une BNF commune à tous les réseaux de Petri. Cette réflexion ne s'est concrétisée qu'en 2003 en soumettant à l'ISO un projet de standardisation, intitulé ISO/CEI 15909, comportant 3 parties (modèle sémantique, langage d'implémentation, extensions). Le processus de normalisation est long et complexe. Tout projet passe par des phases successives, depuis le document de travail « working draft » jusqu'au stade de norme internationale « international standard ». La France, comme état membre de l'ISO, est impliquée au processus de normalisation de l'ISO/CEI 15909. Elle est très active car elle apporte des contributions essentielles aux parties 1 et 2. Elle désire continuer à s'impliquer de manière pérenne. Les experts français proviennent de trois laboratoires : LIP6, LIPN et CEDRIC. Leur participation demande une inscription officielle de chaque laboratoire à l'AFNOR, ainsi que la prise en charge de leurs frais de déplacement.

Le groupe Réseau de Petri soutient bien évidemment cette action qui impactera fortement la façon dont les réseaux de Petri pourront être utilisés dans l'industrie. A cet effet, le groupe a transmis à la direction du GDR MACS une demande de financement pour accompagner les intervenants français dans le processus engagé. Une subvention de 1000€ a été votée, elle a permis à Isabel Demongodin (LSIS, Marseille) de

représenter le groupe lors des réunions du comité de normalisation. Un point sur l'état actuel de cette action sera présenté lors d'une prochaine réunion du groupe RdP.

### **Renouvellement du groupe RdP**

Le renouvellement du GDR MACS qui doit s'opérer en 2009 nous donne l'opportunité de faire le point sur les attentes des différentes communautés vis-à-vis du groupe RdP. En effet, plusieurs autres groupes de recherche traitant en partie des RdP sont apparus depuis la création du groupe RdP, et le positionnement du groupe doit être redéfini.

Par exemple, au sein du GDR MACS, le groupe INCOS (ingénierie de la commande et de la supervision des SED) utilise les réseaux de Petri, ainsi que d'autres modèles discrets, d'un point de vue « application ». Il pourrait être intéressant de savoir si un groupe traitant spécifiquement des réseaux de Petri a encore sa raison d'être, ou si l'on ne doit pas plutôt élargir les thématiques traitées vers les « méthodes formelles pour les SED », avec un positionnement plus centré sur les formalismes que sur les applications.

Également, dans la communauté « informatique », des groupes de travail comme MEFOSYLOMA (Méthodes Formelles pour les systèmes logiciels et matériels) et AFSEC (Méthodes formelles pour les systèmes embarqués communicants) couvrent régulièrement des thématiques du groupe RdP. La question qui se pose alors est alors plutôt de savoir comment peut s'articuler l'action du groupe RdP par rapport à celles de ces groupes : faut-il garder un groupe dédié RdP permettant de recenser les actions des uns et des autres, d'assurer par exemple la diffusion des actions de normalisation des réseaux de Petri, et de faire se rencontrer les deux communautés « info » et « auto » ?

Nous profitons du renouvellement du GDR MACS au cours duquel les groupes de travail sont amenés à évoluer pour faire le point sur les attentes des communautés « automatique » et « informatique » par rapport au groupe Francophone sur les réseaux de Petri. Cette consultation nous permettra d'obtenir une vision claire des attentes des communautés utilisant les réseaux de Petri et les modèles discrets en général, ainsi que d'identifier des perspectives de travail, quel que soit l'avenir de notre groupe. Le bilan de cette enquête sera effectué lors de notre prochaine réunion du 23 janvier, et nous permettra de finaliser notre fiche de renouvellement.

À ce jour, nous hésitons sur la formule qui serait la plus adaptée pour le groupe : poursuivre sous la forme actuelle, en restant focalisé principalement sur les réseaux de Petri, ou étendre les thèmes du groupe aux approches formelles pour les SED

## **4. Perspectives**

Les perspectives échangées entre les participants lors des réunions précédentes nous ont permis de définir un certain nombre de perspectives que nous listons ci-dessous.

### **Comité de Pilotage**

Nous souhaitons constituer un « comité de pilotage » d'une dizaine de personnes impliquées à un haut niveau national et international dans le domaine des réseaux de Petri, et participant de façon régulière au groupe. Ce comité de pilotage contribuera à la définition des grands axes du groupe, participera à la définition des thèmes des journées, sessions invitées de conférences, sessions spéciales de journaux, chapitres de livres. Il permettra de donner au groupe une visibilité internationale.

### **Thèmes des prochaines réunions**

Les thèmes des journées sont définis deux journées à l'avance, de façon à disposer du temps nécessaire pour trouver les intervenants et le lieu. Suite aux discussions engagées lors des précédentes réunions, un

certain nombre de thèmes ont émergé, correspondant soit aux extensions des réseaux de Petri, soit aux domaines applicatifs à traiter.

Extensions des réseaux de Petri :

- Modèles de la dynamicité : Rdp « Elementary Object System » (R. Valk), Recursive Petri Nets (Haddad, Poitrenaud)
- Rdp stochastiques
- Rdp hybrides
- Réseaux de Petri de Haut niveau : objet / coloré / prédicats
- Outils RdPs

Applications des réseaux de Petri :

- Réseaux de Petri et Ordonnancement
- Gestion de la production : workflow / logistique / transport
- RdP et programmation
- Systèmes distribués / répartis

### **Sessions Invitées, Ecoles & Tutoriaux**

Une session invitée sur le thème « Réseaux de Petri et contraintes temporelles » a été proposée par le groupe RdP en collaboration avec Simon Collart Dutilleul (Lagis, Lille) pour la conférence CIFA 2008, 6 présentations ont été effectuées lors de cette session.

L'organisation de la conférence ICATPN (International Conference on Applications and Theory of Petri Nets) à Paris en juin 2009 sera également l'occasion pour le groupe de se réunir en marge de cet événement.

### **Fiches-Outils**

La proposition du GDR sur les fiches outils a retenu notre attention. En parallèle aux actions de normalisation des Réseaux de Petri soutenues par le groupe, de telles fiches contribueraient à l'unification des définitions et notations et permettraient de constituer une base de références pourquoi pas accessibles depuis le serveur. Nous envisageons de coupler la rédaction des fiches aux journées thématiques pour en faciliter la rédaction.

### **Relations**

Outre les relations entreprises avec le groupe MEFOSYLOMA et l'AFSEC, nous souhaitons relancer les partenariats engagés autour du groupe RdP par nos prédécesseurs, qui avaient reçu le soutien du GDR ARP (maintenant ASR) et du club EEA. Nous souhaitons également poursuivre l'organisation des journées communes avec les autres groupes de travail du GDR MACS qui relèvent de nos thématiques.

### **Serveur & Mailing-list**

En plus des réunions qui sont l'occasion de discussions à propos de résultats de recherche récents, nous souhaitons que le serveur du groupe RdP devienne un moyen privilégié d'information et d'animation du groupe. A cet effet, nous définissons actuellement le cahier des charges d'un nouveau site web qui fournira notamment les fonctionnalités suivantes :

- Inscription à une mailing-list RdP spécifique, envois de mail avec archivage sur le site
- Sections « publiques » avec modération permettant de proposer des actualités, annonces de soutenances, ... ;
- Mise à disposition de documents, avec notamment un ensemble de "benchmarks" pour tester les outils d'analyse, des problèmes proposés par des industriels, et des supports de cours sur les RdPs ;
- Outils de recherche sur texte entier et par mots-clés sur l'ensemble des documents du site et des CR de journées.

## PRESENTATION DU GROUPE DE TRAVAIL

### **SAR : SYSTEMES A RETARD**

MICHEL DAMBRINE<sup>1</sup>, OLIVIER SENAME<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LAGIS, [Michel.Dambrine@ec-lille.fr](mailto:Michel.Dambrine@ec-lille.fr)

<sup>2</sup>GIPSA-LAB, [Olivier.Sename@inpg.fr](mailto:Olivier.Sename@inpg.fr)

Site web : [www.ec-lille.fr/sar](http://www.ec-lille.fr/sar)

#### ***Présentation du groupe***

Le groupe “systèmes à retards” a été fondé en 1994 dans le cadre du précédent GDR Automatique.

#### ***Contexte***

Les systèmes à retards constituent une classe de modèles largement utilisée pour représenter des phénomènes de transport et de propagation, ou encore des temps de traitement et de transmission de l’information. À ce titre, ils apparaissent naturellement dans la modélisation de systèmes rencontrés dans de nombreux domaines allant de la robotique (télé-opération, systèmes à interfaces haptiques,...), à l’informatique temps-réel et les réseaux, en passant par l’aéronautique, l’automobile, etc. Ils sont donc au cœur de nombreuses problématiques de l’automatique moderne, autant en modélisation qu’en commande. Parmi ceux-ci, les équipes en présence sont concernées par les applications suivantes :

- Information et Communication :
  - réseaux de communications : Internet ou CAN (congestion liée aux retards de traitement et de transfert de l’information),
  - interfaces haptiques et systèmes à retour d’effort (temps de calcul liés au traitement algorithmique des environnements virtuels) et télé-opération (retards fluctuants dûs à la ligne de transmission, liaisons internet),
  - architectures électroniques embarquées (retards variables dûs à l’ordonnancement des tâches dans les réseaux embarqués),
  - commande de robots mobiles, coordonnés
  - cryptage/décryptage (systèmes optiques générateurs de chaos), ...
- Sciences Pour l’Ingénieur :
  - spatial et aéronautique (temps de propagation hertzienne, capteurs retardés : attitude de satellites, altitude, lacet et accélération d’avion...),
  - ventilation minière : retard dû à la propagation de l’air
  - réseaux de distribution d’énergie (synchronisation par réseau télécom.),
  - moteurs thermiques (temps d’allumage, capteurs de richesse déportés) et processus de combustion (effet de flamme),
  - conduite de forage vertical (propagation d’onde),
  - commande numérique (modélisation du phénomène d’échantillonnage par un retard variable)
- Sciences du Vivant :
  - épidémiologie : dynamique de populations bactériennes (temps de reproduction, durée de vie), modélisation du paludisme (repositivation), de la leucémie myéloïde chronique
  - modélisation et régulation de processus physiologiques (système cardio-respiratoire),...

## ***Thématiques***

L'activité de recherche sur les systèmes à retards connaît toujours un plein essor au niveau international et au sein du groupe SAR. Les résultats développés ces quinze dernières années constituent des bases théoriques solides et par conséquent nous permettent de traiter un certain nombre d'applications :

- la commande des systèmes par et pour les réseaux : stabilisation, contrôle de congestion et contrôle de qualité de service, conception conjointe commande / ordonnancement
- la télé-opération en robotique : commandes prédictive, robuste, collaborative, analyse de stabilité
- dans le domaine aéronautique : identification et étude de robustesse
- dans le domaine automobile : commande de moteurs thermiques
- dans le domaine nucléaire
- la commande de procédés agricoles

En parallèle, de nombreuses contributions théoriques continuent à être développées (parfois motivées par les applications décrites ci-dessus) et concernent les aspects suivants :

- la synthèse de lois de commande et d'observateurs robustes : robustesse vis-à-vis de variations paramétriques – dont le retard – ou d'entrées inconnues, approches  $H_\infty$  - LMI, par modes glissants ;
- l'étude des systèmes Linéaires à Paramètres Variants (LPV), des systèmes implicites pour la stabilisation et l'observation ;
- l'analyse de stabilité et la commande de systèmes à retards variant dans le temps pour différents types de modèles dont les systèmes discrets.
- l'étude des systèmes neutres : stabilité/stabilisation asymptotique exponentielle ou non par différentes approches ( $H_\infty$ , Lyapunov-Krasovskii, fonctionnelle) ;
- l'approche structurelle : structure à l'infini, découplage, rejet de perturbations ;
- l'approche algébrique : réalisation, stabilisation, identifiabilité et observation (avec ou sans entrées inconnues) pour les systèmes linéaires ou non linéaires ;

## ***Objectifs***

Notre objectif concerne aussi bien le développement des connaissances et leur mise en œuvre pratique, que l'établissement d'actions d'animation et de communication, tournées vers la communauté nationale et internationale :

- *Rassembler la communauté nationale* concernée par ces thèmes, développer des échanges privilégiés entre les différents laboratoires participants: il s'agit de créer des opportunités de rencontres entre les chercheurs, enseignants-chercheurs et doctorants travaillant dans ce domaine, pour favoriser la synergie entre les équipes.
- *Favoriser la visibilité internationale* des résultats du groupe (en particulier : i) organisation de conférences internationales, comme la série de Workshops IFAC "Time Delay Systems" mise en place en 1998 ou les Workshops NSF-CNRS "Advances in time-delay systems", et ii) sessions invitées dans des grandes manifestations internationales) et poursuivre les collaborations (invitation de scientifiques de haut niveau, de post-doctorants et de doctorants).
- *Diffuser les connaissances auprès du monde académique* par des réunions ouvertes à tous et l'édition d'ouvrages et de numéros spéciaux.

Dans ce cadre, depuis juillet 2005, le groupe a eu l'occasion de se réunir quatre fois. Il est à noter qu'une large partie des exposés présentés concerne des applications de la théorie des systèmes à retards à des domaines divers (télé-opération, commande par réseaux, industrie automobile,...).

## ***Laboratoires participants***

Le groupe est composé d'un noyau actif d'une cinquantaine de personnes (173 personnes se sont déclarées intéressées en s'inscrivant sur le site du GDR) provenant des laboratoires suivants : CAS (Paris), CRAN (Nancy), ENSAM (Aix), ENSEA/ECS (Paris), HEUDIASYC (Compiègne), Institut d'Électronique

Fondamentale (IEF), INRIA (Futurs, Rhône-Alpes, Rocquencourt, Sophia-Antipolis), IRCCyN (Nantes), LAAS (Toulouse), GIPSA-lab (Grenoble), LAGIS (Lille), LAMIH (Valenciennes), LASC (Metz), LSC (Evry), LSIT (Strasbourg), LSS (Paris), LVR (Bourges), LIX (Palaiseau), Univ. d'Orsay (Paris), Univ Paris 13.

## **Bilan 2006-2009**

### ***Animation scientifique***

- *Réunions de travail* : 7 journées ont été organisées avec une audience moyenne de 20 participants (voir le programme de ces journées plus loin) + deux sessions spéciales du groupe à CIFA2006 et une session à CIFA 2008.
- *Sessions invitées* : 2 sessions sur le thème SAR ont été organisées par des membres du groupe
  - une session organisée par O. Sename à l'IFAC ROCOND Toulouse 2006 (Robust control and observation of time-delay systems),
  - une session organisée par R. Rabah et G. Sklyar à la 14th IEEE Mediterranean Conference on Control and Automation 2006, Ancône, Italie (Infinite dimensional control systems)
- *Editions d'ouvrages* :
  - *Applications in Time-Delay Systems*, éditeurs : J-J. Loiseau et J. Chiasson, Springer, LNCIS vol. 352, 2007
  - *Systèmes commandés en réseau*, éditeurs : J-P. Richard et T. Divoux, Hermès IC2, mars 2007 (en lien avec l'AS 01 puis le RTP 55 du CNRS, et en particulier de l'EPML "RTT" - retards de transmission et télé-opération).
  - *Stability and stabilization of time-delay systems. An eigenvalue based approach*. Wim Michiels and Silviu-Iulian Niculescu, Advances in Design and Control 12, SIAM Publications, Philadelphia, 2007, ISBN 978-0-898716-32-0
  - *Biology and control theory: Current challenges*, Queinnec, I., Tarbouriech, S., Garcia, G., Niculescu, S.-I. (Réd.), Vol. 357 LNCIS, Springer, 2007, ISBN 978-3-540-71987-8

### ***Actions internationales***

Les membres du groupe sont fortement impliqués dans diverses actions internationales dont l'organisation d'ateliers de travail internationaux, qui viennent compléter l'activité usuelle d'animation :

- International Workshop IFAC on Time Delay Systems (TDS 09) organisé à SINIAIA (Roumanie) du 1 au 3 Septembre 2009 (Silviu-Iulian Niculescu Chairman du Comité International de Programme)
- Workshop 'Delays, feedback and interconnections: From simple structures to complex networks' organize par Silviu Niculescu en collaboration avec J. Cheong, à l'IFAC World Congress (Séoul, 2008).
- International Workshop IFAC on Time Delay Systems (TDS 07) organisé à Nantes par les membres de l'IRCCyN les 17 et 19 septembre 2007 ;
- International Workshop IFAC on Time Delay Systems (TDS 06), L'Aquila, Italie, Juillet 2006 ;
- Comité Technique IFAC "Linear Systems" : plusieurs membres du groupe dont le responsable du TC (L. Dugard).
- Participation à l'école d'automne tunisienne d'automatique (JAA'06) organisée à Douz en novembre 2006 (1 journée consacrée aux systèmes à retard)
- Participation à différents projets internationaux (projet H. Curien Tournesol avec la Belgique, projet Star avec la Corée, projet CNRS-Etats-Unis, projet ECO NET avec des pays de l'Europe de l'Est...)
- Invitations de chercheurs étrangers de différents horizons (Etats-Unis, Israël, Pologne,...)

## ***Programmes des journées organisées depuis 2006***

### 26 Janvier 2006

- M. DI LORETO, J-J. LOISEAU, J-F. LAFAY (IRCCyN) : Commande à réponse impulsionnelle finie pour les systèmes à retards
- G. SKLYAR, R. RABAH (IRCCyN) : On the exact controllability of neutral type systems with distributed delays. A moment problem approach
- C. BRIAT, O. SENNAME et J-F. LAFAY (LAG, IRCCyN) : Commande  $H_\infty$  pour les systèmes LPV à retards
- M. BOUKHNIFER, A. FERREIRA (LVR Bourges) : Passivité d'une chaîne de micro-téléopération avec retards de communication
- L. SINEGRE, N. PETIT, (CAS, Mines de Paris) : Etude des instabilités dans les puits activés par gas-lift

### 06 Avril 2006

- Héctor J. ESTRADA-GARCIA, C. MOOG, L.A. MARQUEZ-MARTINEZ (IRCCyN) : Trajectory Tracking for Nonlinear Time-Delay Multi-Input Multi-Output Systems
- Constantin MORARESCU, S.I. NICULESCU (HEUDIASYC): Stability crossing curves for a class of linear systems with distributed delay
- Georges MORARU (LSIS) : Modélisation et analyse des systèmes à retard caractérisant les phénomènes vibratoires en usinage
- Rifat SIPAHI (Northeastern Univ.): Cluster Treatment of Characteristic Roots, A Unique Methodology for the Stability Robustness Analysis of Linear Time Invariant Multiple Time Delayed Systems
- Rifat SIPAHI & S.I. NICULESCU (HEUDIASYC) : Stability and Stabilization of Gradient Play Dynamics via Small Delay Derivative Actions

### 18 Mai 2006 (Journée Commune MOSAR-SAR)

- G. MEINSMA (Univ. of Twente) : Multiple delays in  $H_2$  and  $H_\infty$  control
- H-F. RAYNAUD, F. FLORET, C. KULCS'AR, B. LEBEAU, (L2TI, U. Paris 13) : Non-linear state-space models for congestion control in data transmission networks
- O. SENNAME, (LAG) : An LPV/  $H_\infty$  Active Suspension Control for Global Chassis Technology: Design and Performance Analysis
- F. GOUAISBAUT, (LAAS) : Delay-Dependent Stability Analysis of Linear Time Delay Systems
- Leonid MIRKIN (Technion - IIT, Israel): An Opinionated View on Delay Robustness

### 23 novembre 2006

- Alexandre KRUSZEWSKI, T-M GUERRA (LAMIH Valenciennes) : "Nouvelles approches pour la stabilisation de systèmes discrets non linéaires et retardés"
- Estelle CHERRIER (CRAN - INPL Strasbourg), "Estimation de l'état et des entrées inconnues pour une classe de systèmes non linéaires"
- Ali ZEMOUCHE, M. BOUTAYEB & G. I. BARA : Observateur d'état des systèmes non linéaires à retard.
- Samir ABERKANE (CRAN Nancy) : Systèmes commandés par réseaux : Approche par systèmes à sauts Markoviens
- Laurentiu HETEL – J. DAAFOUZ (CRAN-INPL Nancy) : A propos des systèmes à commutation avec retard variable.
- Corentin BRIAT - O. SENNAME – J-F. LAFAY (LAG, IRCCyN): Synthèse de contrôleurs adaptatifs pour systèmes à retards
- Henri-François RAYNAUD (Univ Paris 13) : Des retards comme sorties non linéaires - l'exemple du contrôle de congestion".

### 11 Janvier 2008 (journée prévue le 22 Novembre 2007 et reportée pour cause de grève) - Paris

- Peter KIM and Silviu NICULESCU and Doron LEVY and Peter Lee (LSS Supélec): Modeling immune dynamics during Gleevec-induced remission of leukemia
- Emmanuel WITRANT (GIPSA-lab) : Définition d'un benchmark pour la modélisation et la commande de ventilation minière
- Wenjuan JIANG, Jean-Pierre RICHARD, Armand TOGUYENI (LAGIS Lille) :Remote estimation and control of a mobile robot via Internet-plus-bluetooth communication
- César Fernando MÉNDEZ-BARRIOS, Irinel-Constantin MORARESCU, Siliviu-Iulian NICULESCU, and Keqin GU. (LSS Supélec): On the Fragility of PI Controllers

- Corentin BRIAT - O.SENAME - JF.LAFAY (GIPSA-lab): Delay-Scheduled Controllers for time-delay systems with Time-Varying delays - A LPV approach
- Alexandre SEURET (KTH, Stokohlm) Time delay and sliding mode control

15 Février 2008 – Grenoble : journée du GT MOSAR en collaboration avec SAR

- John MARTINEZ, Maria SERON, Jose DE DONA (GIPSA-lab; University of Newcastle, Australia): Multisensor switching strategy for Fault-Tolerant Control
- Toscano ROSARIO, Patrick LYONNET (LTDS/ENISE, Saint-Etienne) : Synthèse d'une loi de commande par retour de sortie robuste, suivant une heuristique de recherche basée sur une formulation à la Kalman
- Corentin BRIAT - O.SENAME - JF.LAFAY (GIPSA-lab): Delay-Scheduled Controllers for time-delay systems with Time-Varying delays - A LPV approach
- Spilios Theodoulis, Gilles Duc, Laboratoire d'automatique, (Ecole Supérieure d'Electricité) ; Pilotage d'un véhicule de rentrée par des techniques de séquençement de gain
- Gilles Ferreres, (ONERA) : Synthèse convexe auto-séquentée pour un modèle LFT

26 et 27 novembre 2008 - Grenoble

- Laurentiu HETEL (LAGIS, Lille) : Systèmes numériques de commande - une approche système à commutation
- Yassine ARIBA et Frédéric GOUAISBAUT (LAAS, Toulouse) : Sur la stabilité des systèmes à retard variant dans le temps
- Michaël DI LORETO (Ampère, Lyon) et Jean-Jacques Loiseau (IRCCyN,Nantes): Stabilité des équations aux différences
- Alexandre SEURET (GIPSA-LAB, Grenoble) : Construction de nouvelles fonctionnelles de Lyapunov-Krasovskii grâce à des equations différentielles linéaires
- 27 novembre Soutenance de thèse de Corentin BRIAT (GIPSA-LAB, Grenoble), Commande et observation robustes des systèmes LPV retardés, Jury : Rapporteurs (Mme. Sophie Tarbouriech Directeur de Recherche et M. Jean-Pierre Richard Professeur, M. Silviu-Iulian Niculescu Directeur de Recherche), Examineurs (M. Erik I. Verriest Professeur, Georgia Tec, M. Andrea Garulli Professeur, Universita' degli studi di Siena), Directeurs de thèse (Olivier Sename, Professeur Grenoble INP, Jean-François Lafay IRCCyN Nantes)

Sessions invitées du GT SAR à CIFA 2006 (Organisateurs : Michel Dambrine, Olivier Sename)

**Systèmes à retard 1**

- YAKOUBI Karim, CHITOUR Yacine: Stabilisation des Systèmes Linéaires Discrets avec Commande Bornée et Retardée
- MOULAY Emmanuel, DAMBRINE Michel, PERRUQUETTI Wilfrid, YEGANEFAR Nima: Une première approche de la stabilité et de la stabilisation en temps fini des systèmes à retard
- BOUKHNIFER Moussa, FERREIRA Antoine: Passivité d'une Chaîne de Téléopération avec Retard de Communication et Facteurs d'échelle
- WITRANT Emmanuel, GEORGES Didier, CANUDAS DE WIT Carlos: Du canal de communication à la problématique des systèmes commandés par réseaux
- SENAME Olivier: Commande  $H_\infty$  pour la téléopération d'un véhicule via un réseau

**Systèmes à retard 2**

- SEURET Alexandre, FLOQUET Thierry, RICHARD Jean-Pierre: Observateurs pour systèmes à retard variable et inconnu
- PERDON Anna Maria, ANDERLUCCI Maria: Un générateur de résidus pour systèmes à retard
- VALMORBIDA Giorgio, QUEINNEC Isabelle, PERES Pedro L. D., TARBOURIECH Sophie: Synthèse de contrôleurs pour des systèmes avec retard et entrée saturée
- THOMASSIN Magalie, BASTOGNE Thierry, RICHARD Alain: Identification d'un bief de rivière par une approche bayésienne

Sessions invitées du GT SAR à CIFA 2008 (Organisateur: Michel Dambrine)

**Analyse, commande et observation des systèmes à retards**

- Michael DI LORETO, Jean Jacques LOISEAU, Jean-François LAFAY : Une approche algébrique pour la commande des systèmes linéaires à retards de type neutre
- Alexandre SEURET, Karl JOHANSSON, Michel DAMBRINE: Commande de systèmes non retardés par retour de sortie statique échantillonné (papier n° 203)

- Kheir Eddine BOUAZZA, Kheireddine MEKKAOUI: La commande et l'observation d'une classe de systèmes non-linéaires en temps discret avec retard
- Woihida AGGOUNE: Stabilisation d'une classe de systèmes discrets à retards (papier n° 144)
- Corentin BRIAT, Olivier SENAME, Jean-François LAFAY : Filtrage Hinf/LPV de systèmes LPV incertains à retards
- Estelle CHERRIER, Amine SBOUI, Mondher FARZA, Mohammed M'SAAD : Observateurs à grand gain pour une classe de systèmes non linéaires à retard (papier n° 361)

### *Évolution du groupe*

SAR est un groupe d'animation scientifique depuis de nombreuses années dans lequel les chercheurs (surtout les doctorants) peuvent se rencontrer et échanger des idées. Il a permis de mettre en place des collaborations entre différents laboratoires, d'organiser des manifestations en commun, et de mettre en avant la recherche française sur ce thème aux yeux de nos collègues étrangers.

Nous sommes attachés à conserver ce type de structure qui permet l'expression de la recherche, fondamentale et appliquée, en complément des projets financés par d'autres structures (ANR en particulier).

Au cours des journées organisées, on peut remarquer la grande diversité des thèmes abordés. Ainsi outre les « classiques » analyse de stabilité et stabilisation, commande et observation robuste, approches algébriques, des exposés ont concerné les réseaux de communication, la téléopération, la ventilation minière, les systèmes LPV à retards ...

Ceci montre la pérennité du groupe et de ses activités.

Nous tenons à souligner que des jeunes chercheurs, membres actifs du groupe SAR, ont obtenu des postes permanents récemment en France, entre autres : **Mickaël Di Loreto** en septembre 2007 (MCF INSA Lyon, laboratoire Ampère), **Emmanuel Witrant** en septembre 2007 (MCF UJF-GIPSA-Lab, Grenoble), **Laurentiu Hetel** (CNRS, LAGIS Lille), **Alexandre Seuret** (CNRS, GIPSA-lab, Grenoble). Nous sommes donc confiants et optimistes sur la relève afin d'assurer la continuité et la reconnaissance française dans les activités « Time-Delay systems ».

Enfin, Olivier Sename a décidé d'arrêter la responsabilité du groupe. En discussion avec les autres membres lors de la dernière réunion, **Alexandre Seuret** (CR CNRS – GIPSA-lab, Grenoble) s'est proposé pour prendre la suite avec Michel Dambrine.

# PRESENTATION DU GROUPE DE TRAVAIL

## SDH : SYSTEMES DYNAMIQUES HYBRIDES

JAMAL DAAFOUZ<sup>1</sup>, HERVE GUEGUEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CRAN, UMR CNRS - Nancy Université, 2 avenue de la Forêt de Haye F54506 Vandoeuvre lès Nancy  
[jamal.daafouz@ensem.inpl-nancy.fr](mailto:jamal.daafouz@ensem.inpl-nancy.fr)

<sup>2</sup>IETR, Supélec avenue de la Boulaie, BP 81127 F35511 Cesson-Sévigné cedex [herve.gueguen@supelec.fr](mailto:herve.gueguen@supelec.fr)

*Site Web : <http://www.rennes.supelec.fr/sdh/>*

Le groupe Systèmes Dynamiques Hybrides (SDH) est issu d'un groupe de travail sur l'automatisation des processus batch créé en 1986 au sein de la SEE. Au cours des années 1990 et 1991, avec le soutien du Ministère de la Recherche, un groupe commun à la SEE et à l'AFCEC a travaillé sur l'automatisation des processus dis-continus conduisant à la rédaction d'un rapport de synthèse et à l'organisation du premier colloque ADPM à Paris en janvier 92 devenu depuis 2003 la conférence IFAC ADHS. Il a continué à se réunir et à travailler sous la double étiquette AFCEC et SEE jusqu'en novembre 97 où il est devenu un groupe commun au club EEA et à la SEE. En janvier 2000, le groupe a bénéficié du soutien du GDR-automatique et est actuellement sous l'égide du GDR-MACS.

### 1. Présentation scientifique

Traditionnellement, l'automatique traite différemment les problèmes de type continu et ceux de type événementiel. Chacun de ces domaines a créé un ensemble de théories et de méthodes et a développé des solutions performantes pour régler les problèmes homogènes qui se posent à lui, mais sans toujours intégrer les solutions et les apports de l'autre domaine. Dans la pratique, la plupart des systèmes à commander ne peuvent être classés dans une seule de ces catégories homogènes.

Les systèmes dynamiques hybrides (SDH) sont des systèmes dynamiques faisant intervenir explicitement et simultanément des phénomènes ou des modèles de type dynamique continu et événementiel. Ces systèmes sont classiquement constitués de processus continus interagissant avec ou supervisés par des processus discrets. Ils résultent également de l'organisation hiérarchique des systèmes de contrôle/commande complexes, ou de l'interaction entre des algorithmes discrets de planification et des algorithmes continus de commande. Les SDH couvrent plusieurs domaines d'applications tels que les procédés Batch, les systèmes électrotechniques, les réseaux de communication, les systèmes de transport, la commande des procédés industriels, les systèmes flexibles de production, l'industrie agro-alimentaire, la commande des moteurs, les systèmes biologiques, la robotique, les systèmes embarqués ...

Les objectifs du groupe de travail sur les SDH sont de favoriser les échanges entre les différents spécialistes qu'ils soient issus du monde de l'automatique continue ou de celui de l'automatique événementielle, théoricien ou praticien, universitaire ou industriel et permettre ainsi une meilleure connaissance des problèmes liés aux SDH et des solutions qui peuvent y être apportées.

Les travaux du groupe concernent les approches hybrides dans leurs diverses composantes :

- les modèles mathématiques (modélisation, commande, observation, vérification...)
- les aspects méthodologiques (spécification, conception, simulation...)
- les cas d'applications industriels
- ....

Ces travaux recouvrent donc tout le champ des activités de l'automatique et s'organisent le plus possible en relation avec les autres groupes de travaux du GdR.

## 2. Organisation

Les activités du groupe SDH sont principalement constituées par l'organisation de 3 à 4 réunions d'exposés et d'échanges par ans. Ces réunions sont organisées à Paris qui reste le point central pour les membres qui appartiennent à des équipes principalement provinciales.

Le groupe compte environ 400 membres inscrits sur la liste de diffusion du GdR, issus d'une cinquantaine de laboratoires et équipes parmi lesquels un noyau dur des équipes les plus représentées et actives : CRAN, CReSTIC, ECS, GREAH, IETR-Supélec, INRIA Rhone-Alpes, IRCCYN, LAAS-CNRS, Laboratoire Jean Kuntzmann, LAGIS, LAGEP, AMPERE, LISA, SATIE ...

### Délivrables

#### *Congrès :*

Le groupe SDH est à l'origine de la conférence IFAC ADHS et reste très impliqué dans son organisation (IPC, session invitée, ...). La prochaine édition aura lieu du 16 au 18 septembre 2009 à Zaragoza (Espagne).

#### *Ecole :*

Le groupe SDH a contribué à la mise en place d'un ensemble de cours internationaux dans le cadre de l'ECCI au cours de l'année scolaire 2006-2009.

Un cours est organisé dans la prochaine édition de l'Ecole MACS au mois de mars 2009 sous la forme de 4 demi-journées consacrée aux avancées récentes sur des thèmes actuels.

#### *Numéro spécial :*

Un numéro spécial de la revue *Nonlinear Analysis* (Elsevier) sur les systèmes hybrides a été édité en particulier à partir de contributions des membres du groupe.

Un numéro spécial de la revue *JESA* sur les Systèmes Hybrides a été publié en décembre 2007. Ce numéro contient des articles de synthèse sur des problématiques générales des systèmes hybrides et des contributions originales sur des points plus particuliers.

#### *Sessions Spéciales :*

Deux sessions spéciales ont été organisées à la conférence CIFA2008 à Bucarest.

Une session spéciale sur les calculs d'atteignabilité pour les SDH a été organisée à l'IFAC World Congress à Séoul en 2008.

#### *Invitations de Professeurs étrangers :*

Le Professeur Daniel Liberzon de l'Université d'Illinois, Urbana-Champaign, U.S.A. a été invité pendant son séjour à l'ECCI pour un séminaire lors de la réunion du 3 avril 2008

### Relations internationales

Des relations internationales sont établies, d'une part, par la participation des animateurs du groupe au réseau d'excellence HYCON et, d'autre part, par la participation d'un certain nombre de membres du groupe au comité technique de l'IFAC "Discrete Event and Hybrid Systems". D'autre part de nombreux membres du groupe sont impliqués dans la création et le développement de la revue *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems* chez Elsevier.

## 3. Programme des journées et réunions organisées par le GT

### *Jeudi 2 février 2006*

- Relations de Simulation Approchée pour la Vérification des Systèmes Dynamiques Continus et Hybrides, Antoine Girard (Verimag)
- Observateurs non linéaires pour une classe de systèmes dynamiques hybrides, Hassan Saadaoui (ECS/ENSEA & CRESTIC)
- Approche hybride pour la commande prédictive en tension d'un réseau d'énergie électrique, Sylvain Leirens (Supélec-IETR)

### *Jeudi 11 mai 2006*

- Sur le diagnostic d'une classe de SdH, Elom-Ayih DOMLAN (CRAN, Nancy)

- Contrôle plat des systèmes commutés, Michael Canu (EMN Nantes)
- Robustesse des systèmes linéaires à commutation. Application aux systèmes avec retard variable inconnu, Laurentiu Hetel (CRAN Nancy)
- Analyse et contrôle d'une classe de SDH engendrée par un phénomène d'hystérésis, Céline Quémard (LISA, Angers)

#### ***Jeudi 12 octobre 2006***

- Calcul d'atteignabilité pour des SDH à dynamique continue non linéaire par arithmétique d'intervalles, N. Ramdani (LIRMM)
- Stabilité et synthèse d'observateur pour une classe de systèmes hybrides, S. Chaib (LVR).
- Commandes stabilisante et basée passivité pour convertisseur multi-niveaux, M. Baja (Supelec - IETR)
- Commande prédictive hybride pour un convertisseur multi-niveaux, A. Patino (CRAN)
- Présentation du Benchmark "Convertisseur multicellulaire" : Modélisation, Commande et Observation, K. Benmansour (ECS)

#### ***Jeudi 18 janvier 2007***

- Synchronisation d'une chaîne d'oscillateurs : application aux antennes actives, Florin Hutu, Sebastien Cauët, Patrick Coirault (LAI, Poitiers)
- A propos du chaos dans les moteurs pas à pas, Bruno Robert, (CRESTIC, Reims).  
Systèmes à commutations, chaos et cryptage Gilles Millerioux (CRAN, Nancy)
- Analyse du glissement pour la synchronisation de systèmes hybrides Chaotiques, D. Benmerzouk Univ. Tlemcen Algerie et J-P Barbot ECS-EA 3649 ENSEA

#### ***Jeudi 26 avril 2007***

- Systèmes de complémentarité dissipatifs et inclusions différentielles; application aux circuits électriques non-réguliers et à l'observation. Bernard Brogliato, INRIA Rhône-Alpes
- Stabilité de systèmes perpétuellement excités. Mario Sigalotti, Institut Elie Cartan Nancy
- Stabilité des systèmes à commutations gouvernés par un réseau de Petri temporel. R. Bourdais, LAGIS Lille (en collaboration avec P. Yim et W. Perruquetti)
- Suivi de trajectoire sans modèle pour les systèmes non linéaires à commutations. W. Perruquetti, LAGIS Lille (en collaboration avec R. Bourdais, M. Fliess et C. Join)
- Calcul d'atteignabilité pour des systèmes non-linéaires par approximations affines garanties. Othman Nasri, Supelec/IETR Rennes (en collaboration avec M.A. Lefebvre et H. Guéguen)

#### ***Jeudi 20 septembre 2007***

- Conditions d'observabilité et synthèse de différents types d'estimateur/observateur pour des classes de SDH. J-P Barbot (ECS-ENSEA, Cergy)
- Systèmes hybrides stochastiques: présentation générale, équation de Fokker-Planck généralisée et applications Julien Bect (SUPELEC, Gif/Yvette)
- Simulation de circuits électriques non-réguliers Vincent Acary, Pascal Denoyelle (INRIA Rhône Alpes, Projet BIPOP)
- Sur la commande optimale des systèmes commutés affines : application aux convertisseurs de puissance Diego Patino (CRAN, Nancy)
- Analyse de stabilité des systèmes avec réinitialisation en présence d'incertitudes Thomas Loquen (LAAS-CNRS, Toulouse)

#### ***Jeudi 17 janvier 2008***

- Etude de l'observabilité et synthèse d'observateurs de " Gauss-Newton " pour une classe de systèmes dynamiques hybrides. Rudy Kajdan - Didier Aubry - Frédéric Kratz (PRISME - Bourges).
- Une approche basée événement pour les NCS, Laurentiu Hetel (CRAN - Nancy)
- Méthodes algébriques pour la décomposition de modèles comportementaux : Application à la détection et à la localisation de défaillances. Denis Berdjag (LAGIS-Lille)
- Systèmes à commutation, stabilité, représentation symbolique et commande. Antoine Girard (Laboratoire Jean Kuntzmann, Université Joseph Fourier, Grenoble)
- Modélisation et commande d'un convertisseur multicellulaire monophasé. Mohamed Trabelsi (AMPERE - Lyon)

### ***Jeudi 3 avril 2008***

- Nonlinear hybrid control with limited information, Daniel Liberzon, (University of Illinois at Urbana-Champaign, U.S.A).
- Poursuite de trajectoires dans les systèmes lagrangiens non-réguliers, C. Morarescu, B. Brogliato, (Projet BIBOP, INRIA-Rhône-Alpes),
- Vérification de propriétés quantitatives pour les systèmes régis par un contrôleur logique, Bruno Denis, (LURPA, ENS Cachan)
- Formes normales d'observabilité et phénomène de Zénon, L. Yu et J.P. BARBOT (ECS ENSEA Cergy), D. Boutat LVR (Institut PRISME, ENSI-Bourges), D. Benmerzouk (Univ Tlemecen, Algérie)
- Une approche basée sur les machines à vecteurs de support (SVM) pour l'identification des systèmes hybrides, F. Lauer et G. Bloch (CRAN Nancy)
- Représentation polytopique pour la stabilisation des systèmes non linéaires à commutation, R. Bourdais, A. Kruszewski, W. Perruquetti, (LAGIS Lille)

### ***Jeudi 2 octobre 2008***

- Modélisation hybride et commande hiérarchisée des systèmes de production d'énergie électrique multi-sources, François Guerin, Dimitri Lefebvre, (GREAH -- Université Le Havre) Badara Mboup, Pape Ndiayes (CIFRES - Ecole Supérieure Polytechnique de Dakar)
- Bounded and unbounded safety verification using bisimulation metrics Gang Zheng, Antoine Girard (Laboratoire Jean Kuntzmann)
- Quelques remarques sur la discrétisation en temps de systèmes non-réguliers simples Bernard Brogliatto (INRIA Rhones Alpes)
- Estimation de l'état et de la fonction de commutation en temps réel pour les systèmes à commutations. M. Fliess (LIX), C. Join (CRAN), W. Perruquetti (LAGIS)
- Sur l'observabilité du convertisseur multicellulaire. Pierre Riedinger (CRAN)

### ***Jeudi 5 février 2009***

- Poursuite des trajectoires pour une classe de systèmes mécaniques de complémentarité avec des articulations flexibles, C Morarescu, B. Brogliato
- Contrôle hybride d'un actionneur électro-hydraulique, L. Sidhom, X. Brun, D. Thomasset M. Di Loreto
- Analyse de la stabilité de systèmes à commutations polynomiaux à l'aide d'inegalités de dissipation, E. Mojica, N. Quijano, A. Gauthier et N. Rakoto.
- Identification de modèles d'état linéaires commutants sans hypothèse de temps de séjour, L. Bako, G. Mercère et S. Lecoecue
- Active Diagnosis of Hybrid Systems guided by Diagnosability Properties - Application to Autonomous Satellites, M. Bayouhd (avec L. Trave-Massuyes)
- Delay compensation in packet-switching networked controlled systems, A Chaillet (avec A. Bicchi)

## **4. Evolution et Prospective**

Le groupe SDH compte maintenir son rôle de structure d'animation et poursuivre sa mission d'échange, d'ouverture, d'accueil de doctorants, de rayonnement et de conduite de projets de recherche ciblés. Il a également pour ambition de maintenir les interactions fortes entre les communautés des systèmes à événements discrets et systèmes continus.

Sur le plan scientifique il nous apparaît que les travaux sur les systèmes hybrides doivent maintenant résoudre deux problèmes fondamentaux qui limitent leur applicabilité. Le premier concerne le passage à l'échelle pour la prise en compte des systèmes complexes et le deuxième concerne la prise en compte des incertitudes et la robustesse des solutions proposées vis-à-vis de ces incertitudes. D'autre part le groupe sur les SDH entend participer aux réflexions sur la présentation des retombées sociétales des recherches en automatique.

Enfin nous souhaitons profiter de la création de l'ECCI sur le site du plateau de Saclay pour inviter les scientifiques en séjour dans cet institut à participer à nos réunions.

**PRESENTATION DU GROUPE DE TRAVAIL**  
**UAV : VEHICULES AERIENS AUTONOMES**  
**GROUPE INTER GDR**

**I. FANTONI-COICHOT<sup>1</sup>, Y. BESTAOU<sup>2</sup>, M. BOUTAYEB<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>HEUDIASYC

<sup>2</sup>IUP-Evry

<sup>3</sup>IUT-Longwy

*Site web : <http://www.hds.utc.fr/gt-uav>.*

Les recherches menées sur les véhicules aériens autonomes ou drones par les communautés Roboticienne et Automaticienne françaises ne cessent de s'accroître et de se diversifier. Le potentiel des drones miniatures s'avère très important avec une multitude d'applications (surveillance de site sensible, gestion des risques naturels, protection de l'environnement, intervention dans des sites hostiles, gestion des grandes infrastructures, agriculture, prise de vue aérienne, ...). Le développement de tels services effectués au moyen de drones automatiques et autonomes repose sur la capacité de contrôle de leur vol en environnement hostile et perturbé. Cette capacité passe par une maîtrise de l'aérodynamique de ces engins, des lois de contrôle associées, de l'estimation d'état et éventuellement des perturbations. Outre les verrous d'ordre réglementaire (intégration au sein de la circulation aérienne), les technologies drones miniatures doivent répondre à des problématiques techniques liées à leur taille afin d'assurer leurs déploiements.

De nombreux laboratoires en France travaillent actuellement sur cette thématique, qui relève de plusieurs disciplines, telles que l'automatique, la robotique, l'informatique, l'électronique, la mécanique, etc. L'automatique étant souvent placée à la frontière des autres disciplines, il nous a semblé intéressant de proposer la création du groupe de travail « véhicules aériens autonomes » au sein du GdR MACS en 2007.

En 2008, ce groupe de travail s'est associé avec le GT2 « véhicules autonomes (terre, air, mer) » du GdR Robotique pour créer le sous-thème « commande de drones » dont la thématique sur les véhicules aériens autonomes était commune. Le groupe de travail UAV est ainsi devenu inter-GdR MACS et Robotique.

L'objectif du Groupe de Travail inter-GDR (Automatique-Robotique) est de réunir les chercheurs des deux communautés scientifiques et les industriels autour de la thématique des véhicules aériens miniatures, afin d'établir et d'évaluer les avancées méthodologiques et technologiques du domaine permettant l'autonomie de ces véhicules. Les problèmes traités dans le cadre de ce GT sont nombreux. On s'intéresse à tous les drones (micro ou mini, plus lourds ou plus légers que l'air) dans toutes les configurations possibles (voilures fixes, tournantes, vibrantes ou battantes). Les réunions du GT permettent de conjuguer les expertises de roboticiens, d'automaticiens et d'industriels autant sur les aspects fondamentaux (problèmes génériques de commande, d'observation et d'estimation) que sur les aspects technologiques (nouvelles architectures aéromécaniques, capteurs, actionneurs, ...).

### **Thématiques scientifiques**

Le GT UAV s'intéresse aux problèmes suscitant un intérêt évident des communautés Roboticienne et Automaticienne. Ils sont regroupés en 5 thématiques relevant du domaine de la robotique et de l'automatique. Les thèmes et leurs descriptifs ci-dessous ne représentent pas une liste exhaustive, en effet certains points non évoqués (conceptions innovantes en aéromécanique, capteurs, actionneurs et architectures informatiques) sont des sources non négligeables de problèmes intéressants :

### **Modélisation**

L'établissement d'une modélisation exploitable pour la synthèse et l'analyse de commande des drones est un vrai challenge. La complexité de la mécanique et la variabilité des phénomènes aérodynamiques en jeu, en particulier lorsque différents vols sont alternés, sont des sources importantes de difficultés. Bien que globalement les effets aérodynamiques soient en réalité continus, lorsque l'on passe d'un mode de vol à un autre, ils sont difficilement modélisables. Ceci reste vrai même si l'on ne s'intéresse qu'à un mode de vol spécifique pour certaines configurations de drones.

L'objectif de cette thématique est d'établir, pour un drone donné, un modèle aérodynamique le plus simple possible en vue de la synthèse de commande, sans dénaturer les caractéristiques principales du drone.

### **Commande**

Pour le problème de synthèse de la commande, les difficultés sont multiples. Il convient en premier lieu de remarquer que ces systèmes sont sous-actionnés (nombre d'entrées de contrôle inférieur au nombre de degrés de liberté du système) ; ils peuvent être de tailles et de formes différentes conduisant à des caractéristiques aérodynamiques différentes et par conséquent à des objectifs de commande différents. Les outils classiques de l'automatique, basés en premier lieu sur des hypothèses de commandabilité locale du système, ne sont parfois pas directement utilisables. Comment exploiter les efforts aérodynamiques ou comment combiner au mieux plusieurs phases de vol (avec ou sans planification de trajectoire) dans le but d'optimiser la dépense énergétique (par exemple) sont, du point de vue de la commande, des problèmes difficiles et très ouverts. Il convient également de mentionner le problème de résistance à la rafale et à d'autres phénomènes aérologiques, en particulier dans les milieux urbains (vent tourbillonnant, phénomène de cisaillement, ...) dont l'étude est nécessaire à l'autonomie des drones. L'étude de ces problèmes peut amener à des méthodologies tout à fait novatrices et sont primordiales d'un point de vue applicatif pour augmenter l'autonomie du système.

L'objectif de cette thématique est de développer de nouvelles stratégies de commande (issues de l'Automatique ou de l'apprentissage) assez génériques, simples, robustes et performantes répondant aux exigences des besoins.

### **Commande référencée capteurs**

Le contrôle du véhicule par rapport à son environnement est primordial. L'objectif essentiel de cette thématique est d'étendre le paradigme de la commande référencée capteurs aux véhicules aériens en fusionnant les mesures des capteurs habituels de ce type de véhicules (centrale inertielle, baromètres, GPS) aux informations issues de capteurs de vision et de télémétrie et en associant cela à des méthodes avancées de stabilisation. L'obtention de lois de commande modernes au plus près des référentiels de mesures devrait permettre d'étendre les capacités de réactivité vis-à-vis des obstacles et des perturbations. Par ailleurs, cette thématique est une source non négligeable de problèmes théoriques attirant de plus en plus l'attention des chercheurs des deux communautés.

### **Filtrage de données et estimation de l'état du système**

L'implémentation de toute loi de commande nécessite la reconstruction et l'estimation de l'état du système dont elle est fonction. Selon les capteurs embarqués et les configurations du drone étudié, l'objectif sera la reconstruction de l'information de position (ou de la configuration du drone), de vitesse (absolue ou relative) et éventuellement, les efforts aérodynamiques par fusion des informations inertielles provenant généralement de capteurs proprioceptifs (centrale inertielle, baromètres, capteurs d'efforts, ...) et extéroceptifs (caméras et télémètres) ou absolus (GPS). Plusieurs solutions existent mais aucune d'elles n'est réellement satisfaisante pour répondre aux problématiques des drones. Tout comme la thématique précédente, ce volet a pour objectif le développement de nouvelles techniques d'estimation d'état basées sur le modèle dynamique du drone, des capteurs et de leurs dynamiques.

### Prise de décision et planification des systèmes autonomes

Lorsque le véhicule évolue dans un environnement mal connu, dynamique voire dangereux, et que la mission doit être réalisée même en cas de perte de communication avec les opérateurs, l'autonomie doit être décisionnelle. Le véhicule est capable de prendre des décisions et de réaliser les actions associées. L'intelligence embarquée permet ainsi au véhicule d'atteindre les objectifs de la mission en assurant sa survie et en prenant en compte les aléas qui surviennent en cours de mission.

### **Organisation**

Depuis sa création, le GT UAV a organisé 3 réunions. Les deux premières étaient conjointes avec le GT4 Méthodologies pour la Robotique du GdR Robotique et la troisième réunion officiellement inter-GDR était commune avec le GT2 Véhicules autonomes (terre, air, mer), sous thème « Commande de drones » du GdR Robotique. Les présentations des journées et leurs supports sont archivés sur le site web du GT à l'adresse : <http://www.hds.utc.fr/gt-uav>.

Les laboratoires, universités et/ou institutions participant aux journées sont : IBISC, HEUDIASYC (UTC), I3S, LSIIT, CEA LIST, ONERA, DGA, CNES, Ecole des mines de Paris, CREA (UPJV), USTL, CRAN, INRIA Sophia, ENSEA, ENIM, LASMEA, LISV, ENSAM, GIPSA, LSIS, Université d'Orléans, ENS Cachan, SUPELEC, THALES, Dassault Aviation.

Les animateurs du GT UAV sont :

- **pour le GdR MACS** : Yasmina Bestaoui, Mohamed Boutayeb et Isabelle Fantoni-Coichot.
- **pour le GdR Robotique** : Isabelle Fantoni-Coichot et Tarek Hamel.

Les intersections thématiques de ce GT avec d'autres GTs du GdR MACS (Systèmes de commande) et du GDR Robotique (GT2-partie Véhicules terrestres et GT4-Méthodologies pour la Robotique) n'étant pas négligeables, la présence des membres de ces GT lors des réunions est sollicitée.

### **Réunions du GT UAV**

#### **09 novembre 2007 - ENSAM – Paris (61 participants)**

Réunion conjointe avec le GT4 - Méthodologies pour la Robotique du GdR Robotique.

- Génération de trajectoires d'un robot plus léger que l'air, Yasmina Bestaoui, Ibisc, Université d'Evry ;
- Modélisation et commande d'un avion à décollage vertical, Rogelio Lozano, Heudiasyc, UTC ;
- Activités drones au Centre Automatique et Systèmes. Ecole des Mines de Paris, Nicolas Petit, Centre Automatique et Systèmes, Ecole des Mines de Paris ;
- Activités mini-drones au service Robotique et Interaction du CEA List, Jean-Marc Alexandre, CEA List, Fontenay aux Roses ;
- Modélisation, contrôle et techniques d'estimation d'état de drones miniatures, Tarek Hamel, I3S, Université de Nice – Sophia Antipolis.

#### **20 mars 2008 - ENSAM – Paris (60 participants)**

Réunion conjointe avec le GT4 - Méthodologies pour la Robotique du GdR Robotique.

- Les systèmes de drones miniatures : des usagers à part entière de l'espace aérien ? Claude Le Tallec, ONERA-DPRS ;
- Système visuel biomimétique pour le verrouillage de cap d'un micro- aéronef, Nicolas Franceschini, Equipe Biorobotique, Institut Science du Mouvement, CNRS-Université de Marseille ;
- Commandabilité et stratégie de commande tolérante pour un aéronef, François Bateman
- Synergies Technique et Economique des drones civils et drones de sécurité, Catherine Fargeon, Innovation et Recherche, Conseil Général de l'Armement, Paris ;
- Commande de véhicules en présence de glissement: Application au suivi de trajectoire d'engins en milieu naturel, Roland Lenain, Cemagref, Clermont Ferrand.

### **02 octobre 2008 - ENSAM – Paris (38 participants)**

Première réunion officiellement inter GdR MACS et Robotique.

- UAV developments under the HELICIM and OBSERVFLY Projects, Carlos Silvestre, IST/ISR, Lisbon, Portugal;
- Gradient like observers for invariant systems, Robert Mahony, Australian National University;
- Le projet ReSSAC : aboutissements et perspectives, Patrick Fabiani, ONERA Toulouse ;
- Commande d'une classe de véhicules sous-actionnés et application aux drones de type VTOL, Claude Samson, INRIA Sophia Antipolis ;
- Commande intuitive de drone miniature à voilure tournante, Nicolas Guenard, CEA List.

### **Perspectives**

À court terme, la prochaine réunion du GT est prévue le 26 mars 2009. Elle sera consacrée à 2 ou 3 exposés d'industriels et 6 à 7 exposés de doctorants. Une autre réunion est prévue en deuxième partie de l'année 2009. Elle peut être consacrée à la thématique de la commande des véhicules dont le sous-actionnement ne concerne que la dynamique de translation. On s'intéressera en particulier aux véhicules dont la dynamique de translation est commandée par une seule force de poussée le long de l'axe privilégié du véhicule. Cette classe de système est très large puisqu'elle englobe les principaux véhicules évoluant sur SE(2) (Aéroglosses, bateaux et les PVTOL) et presque tous ceux évoluant sur SE(3) (Dirigeables, Sous-marins, Avions, Missiles et les principales formes de VTOL (Hélicoptère, Quadrotor, Ducted fan, ailes-battantes, ailes vibrantes), etc.

Par conséquent, les travaux du GT-UAV ne sont qu'à leur début et il en reste beaucoup à faire même si on se limite aux thématiques décrites plus haut.

Le GT UAV envisage de :

- fournir un document sur l'état de l'art et les défis à relever dans ce domaine,
- proposer un numéro spécial de la revue JESA,
- organiser une session invitée à CIFA 2010.
- organiser un workshop sur les véhicules aériens.

Notons au passage que certains membres du GT sont impliqués dans l'organisation d'un numéro spécial « Special Issue on Aerial Robotics: Applications, open problems and new trends » de la revue *Control Engineering Practice* et d'un autre numéro spécial « Special Issue on Visual Guidance Systems for Small Unmanned Aerial Vehicles » de la revue *Autonomous Robots*. Les informations sont disponibles sur le site du GT UAV.



