



INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE

Projet CONGÉ

Contrôle Géométrique des Systèmes Non Linéaires

Metz

THÈME 4A

R *apport*
d'Activité

1999

Table des matières

1	Composition de l'équipe	2
2	Présentation et objectifs généraux	3
3	Fondements scientifiques	3
3.1	Stabilisation des systèmes par feedback	3
3.2	Observateurs	4
4	Domaines d'applications	5
4.1	Panorama	5
4.2	Biosystèmes	6
4.3	Stabilisation et observations de structures hybrides	6
4.3.1	Stabilisation de structures flexibles en mouvement	6
4.3.2	Construction des observateurs pour des systèmes de dimension infinie	6
4.3.3	Contrôle et régulation des systèmes hyperboliques non-linéaires avec des contrôles frontières dynamiques	7
4.3.4	Analyse spectrale des générateurs de systèmes de vibration	7
4.3.5	Applications	7
4.4	Modélisations et commandes de systèmes à fluides sous pression	8
5	Résultats nouveaux	8
5.1	Stabilisation des systèmes par feedback	8
5.1.1	Systèmes en dimension finie	8
5.1.2	Systèmes hybrides	8
5.2	Observateurs	9
6	Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)	9
7	Actions régionales, nationales et internationales	10
7.1	Actions régionales	10
7.2	Actions nationales	10
7.3	Réseaux et groupes de travail internationaux	10
7.4	Relations bilatérales internationales	11
7.5	Accueils de chercheurs étrangers	11
8	Diffusion de résultats	11
8.1	Animation de la communauté scientifique	11
8.2	Enseignement universitaire	11
8.3	Autres enseignements	11
8.4	Participation à des colloques, séminaires, invitations	11
9	Bibliographie	12

Congé est un projet commun à l'INRIA et à l'Université de Metz via le laboratoire de mathématiques (CNRS UPRES-A-7035).

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Gauthier Sallet [Professeur (Université de Metz)]

Responsable permanent

Jean-Claude Vivalda [CR]

Assistants de projet

Christel Wiemert [TR]

Audrey Kessler [vacataire (janvier-février 1999)]

Personnel Inria

Cheng-Zhong Xu [CR]

Abderamhan Iggidr [CR]

Frédéric Mazenc [CR (à compter du 1er octobre 1999)]

Personnel Université

Philippe Adda [maître de conférences]

Rachid Chabour [maître de conférences]

Jean-François Couchouron [maître de conférences]

Edouard Richard [maître de conférences]

Abdelahk Ferfera

Hanine Zenati [ATER, à compter du 1er septembre 1999]

Chercheurs doctorants

Cyrille Aboky [bourse du gouvernement togolais]

Woihida Aggoune [jusqu'en juin 1999, ATER]

Sabeur Ammar [à compter du 1er octobre, bourse de coopération franco-tunisienne]

Abdelhakim Benchabana [à compter du 1er octobre, bourse de coopération franco-algérienne]

Ourida Chabour [ATER]

Moez Feki

Salah M'Dallal

Hanine Zenati [jusqu'en juin 1999]

Collaborateurs extérieurs

Boumediène Chentouf [Post-doc au CEMAGREF]

Woihida Aggoune [Post-doc au CRPHT, Luxembourg, à compter de juillet 1999]

2 Présentation et objectifs généraux

Les centres d'intérêt du projet s'articulent autour des systèmes non linéaires. Plus particulièrement nous nous intéressons aux problèmes liés à la stabilisation et à l'observation. La stabilisation pouvant être accomplie soit par retour d'état soit par retour sur une estimation de l'état fournie par un observateur. Plus généralement, on s'intéressera à la stabilisation par retour de sortie dynamique.

L'objectif du projet est d'étudier les systèmes non linéaires qui paraissent significatifs du point de vue des applications concrètes et de résoudre les problèmes de commande et/ou d'observations qui peuvent se poser réellement. Les problèmes de modélisation et de simulation de tels systèmes se retrouvent, à titre secondaire, dans la problématique du projet.

Un observateur (ou capteur logiciel) est un système d'équations différentielles dont l'objectif est de reconstruire asymptotiquement les variables d'états du système. L'observateur utilise les données connues du système à savoir ses entrées (les commandes) et ses sorties (les mesures). Autant cette technique est bien maîtrisée dans le cadre des systèmes linéaires, autant celle-ci est délicate dans le cas des systèmes non linéaires. En particulier, la convergence de l'observateur, pour autant que l'on sache le construire, dépendra de la qualité des entrées. Le projet étudie à l'heure actuelle les systèmes non linéaires en dimension finie, discrets ou continus et les systèmes hybrides. Nous entendons par systèmes hybrides des systèmes modélisés par des équations différentielles ordinaires contrôlées, couplées à des équations aux dérivées partielles. Un exemple typique est un système mécanique rigide muni d'appendices souples.

L'intérêt des observateurs est multiple:

- Accéder à des données difficilement mesurables, soit parce qu'elles nécessiteraient des mesures destructives ou encore d'un coût prohibitif ou encore parce que les capteurs sont peu fiables. On a alors affaire à la notion de capteur logiciel ;
- Utiliser l'estimation de l'état pour faire de la commande. Les problèmes théoriques sont ici considérables ;
- Identifier des paramètres et/ou valider les modèles ;
- Générer des résidus, première étape pour la détection et l'isolation de pannes.

3 Fondements scientifiques

3.1 Stabilisation des systèmes par feedback

Résumé :

On considère des systèmes du type :

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x,u) \\ x \in H \end{cases}$$

soit en dimension finie auquel cas f est une équation différentielle ordinaire, soit en dimension infinie auquel cas f est un opérateur sur un espace de Hilbert, et les systèmes :

$$x_n = f(x_{n-1}, u_n).$$

Le problème est de trouver une loi de commande $u(x)$ dépendante de l'état x , tel que le système avec cette loi (système bouclé) soit asymptotiquement stable. En dimension infinie, on s'intéressera aux diverses notions de stabilité (faible, forte, exponentielle...). La stabilité pourra être locale ou globale. Dans le cas des systèmes en dimension finie, nous nous intéresserons à l'adjonction de bruits, les systèmes devenant stochastiques. Si les systèmes dynamiques stochastiques ne sont pas un sujet de recherche pour le projet, leur utilisation est un moyen pour nous de valider la robustesse des lois stabilisantes au bruits de mesures et aux perturbations.

Mots clés : Système hybride.

Glossaire : gloSystème hybride : Se dit d'un système couplant des systèmes d'équations différentielles ordinaires contrôlées et des équations aux dérivées partielles.

Dans tous les types de systèmes considérés, de dimension finie ou à paramètres répartis, déterministes ou stochastiques, discrets ou continus, les techniques de Lyapunov-Lasalle jouent un grand rôle. Si celles-ci sont bien connues dans les systèmes en dimension finie, leur apparition en discret et en dimension infinie est plus récente. Il y a une interaction très forte, au sein du projet, entre les différentes approches. C'est ainsi que des contrôles en dimension finie développés au sein du projet trouvent des parallèles pour les systèmes hybrides. Des contrôles classiques (PI) en automatique s'adaptent en dimension infinie (régulation de canaux d'irrigations). Pour des systèmes d'ordre 1, le mélange de contrôles classiques et de contrôles spécifiques aux EDP se révèle performant. Nous commençons à nous intéresser aux systèmes à retard dans le cadre de la stabilisation des équations différentielles ordinaires.

L'utilisation des fonctions semi-définies positives pour l'étude de la stabilité est un résultat qui apparaît de plus en plus fondamental ([27]). Trouver des feedbacks stabilisants devient plus simple. Nous avons maintenant des exemples réels non académiques de systèmes électromécaniques et électro-pneumatiques que nous stabilisons (les benches sur maquettes réelles sont en cours de montage). Nous avons commencé l'étude de l'application des méthodes de backstepping et feedforwarding aux systèmes électro-hydrauliques. Un ancien doctorant de Congé (B. Chentouf) travaille sur un problème numérique au CEMAGREF.

3.2 Observateurs

Résumé : *On considère un système du type :*

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x,u) \\ x \in H \\ y = h(x) \end{cases}$$

où h est la fonction d'observation (les mesures), un observateur et un système :

$$\begin{cases} \dot{z} = \Phi(z,y,u) \\ \hat{x} = \theta(z) \end{cases}$$

qui a la propriété :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|\hat{x}(t) - x(t)\| = 0$$

Si le système est correctement identifié, connaître un observateur permet d'évaluer l'état du système à l'aide d'un solveur d'équations différentielles, ce qui permet de parler de capteur logiciel.

Le projet étudie et construit des observateurs pour des systèmes en dimension finie ou infinie. Les systèmes réels fournissent des mesures discrètes. Il y a deux façons possibles de résoudre ce problème, toutes les deux abordées dans le projet : soit concevoir des observateurs continus-discrets, soit construire un observateur discret de système discret.

La recherche sur les observateurs est concentrée sur des systèmes particuliers issus d'exemples pratiques. C'est ainsi que nous avons introduit les systèmes de Hessenberg car ils constituent une classe générique de systèmes rencontrés en biologie ou en génie des procédés. Les systèmes bilinéaires sont aussi une classe privilégiée. En particulier, en dimension infinie, ils modélisent les échangeurs thermiques à contre-courant, systèmes assez génériques en génie des procédés.

D'un point de vue théorique nous commençons l'étude et la construction d'observateurs avec des entrées inconnues. Cette classe d'observateurs est intéressante entre autre du point de vue de la détection et de l'isolation des pannes. Nous nous intéressons également à la généralité de l'observabilité pour les systèmes discrets.

En collaboration avec A. Rappaport (INRA Montpellier), nous développons un nouveau concept d'observabilité pour les systèmes à entrées inconnues. En ce qui concerne les systèmes discrets, nous avons démontré la généralité de l'observabilité pour les systèmes sous contrôle (voir [31]).

Nous examinons aussi la question de la construction de l'observabilité lors du passage d'un système continu à son discrétisé ; une thèse est en cours sur ce sujet.

4 Domaines d'applications

4.1 Panorama

Mots clés : environnement, électro-hydraulique, électro-pneumatique, systèmes hybrides.

Résumé : *Les domaines d'application du projet concernent trois grands domaines :*

- biosystèmes,
- stabilisation et observations de structures hybrides,
- modélisations et commandes des systèmes à fluides sous pression.

Par biosystèmes, nous entendons tous ce qui a trait à la biologie ou à l'environnement, c'est à dire les modèles biologiques, les écosystèmes, les chaînes trophiques, les bioprocédés, la pêche. C'est ainsi qu'une station d'épuration ou un méthaniseur sont des bioréacteurs et relèvent de cette problématique.

4.2 Biosystèmes

Dans l'étude des biosystèmes, on rencontre les constantes suivantes :

- Leur structure est souvent très spécifique avec en contrepartie une connaissance incertaine des paramètres, eux-mêmes de structure souvent mal connue. C'est ainsi que dans la littérature, pour un même phénomène, on pourra trouver une modélisation avec un terme qui sera un paramètre et l'on pourra trouver des modélisations où le même terme sera une fonction ; leur expression pouvant également varier selon l'auteur.
- Les mesures de sortie sont très bruitées et relativement peu nombreuses.

Le projet s'intéresse aux bioréacteurs, plus particulièrement les chemostas, ainsi qu'aux modélisations de stations d'épuration pour la conception d'observateurs. Les modèles de pêcheurie sont actuellement à l'étude. Une méthode de régulation a été proposée (voir [29]) et un observateur a été construit (un article sera publié prochainement).

4.3 Stabilisation et observations de structures hybrides

L'objectif du thème consiste à étudier l'observabilité, la contrôlabilité et la stabilisation des systèmes décrits par des EDP couplées avec des ODE. Ce type de systèmes provient naturellement des structures flexibles en mouvement, des phénomènes hydrodynamiques et hydrauliques, des échangeurs thermiques ou des phénomènes rapidement oscillants. Par conséquent, la finalité de nos résultats est dirigée vers des applications.

4.3.1 Stabilisation de structures flexibles en mouvement

C.Z. Xu, J-F. Couchouren (en collaboration avec G. Sallet et J. Ballieul) étudie un modèle typique de structures aérospatiales pour le problème du contrôle et de la stabilisation. On considère une structure flexible attachée à un objet rigide dont le mouvement est décrit par une rotation plus une translation. On suppose que le contrôle est exercé uniquement sur l'objet rigide. Il s'agit de trouver des lois de feedback permettant de stabiliser à la fois l'ensemble de structure-objet, i.e., de stabiliser l'ensemble à une vitesse constante tout en supprimant la vibration de la structure flexible. Jusqu'à présent nous avons déjà obtenu certains résultats dans un cas d'un degré de liberté. Nous voulons poursuivre l'étude pour trois degrés de liberté.

4.3.2 Construction des observateurs pour des systèmes de dimension infinie

J-F. Couchouren, C.Z. Xu (en collaboration avec G. Sallet et Ph. Ligarius) étudient l'observabilité et la construction des observateurs de Luenberger pour des systèmes de dimension infinie. Nous avons déjà obtenu des résultats dans cette direction pour des systèmes bilinéaires de dimension infinie. Nous voulons généraliser ces résultats pour des systèmes de dimension infinie plus généraux. Ce thème de recherche est potentiellement intéressant car il répond à un besoin pratique, puisqu'un nombre fini d'observations (mesures) permet de reconstituer l'état du système qui est lui-même de dimension infinie. La première étape est de construire des observateurs de Luenberger ayant convergence faible. La seconde étape est d'étudier les propriétés de précompacité des trajectoires. La dernière étape est consacrée à l'étude du principe de séparation pour des systèmes non-linéaires de dimension infinie.

4.3.3 Contrôle et régulation des systèmes hyperboliques non-linéaires avec des contrôles frontières dynamiques

C.Z. Xu, B. Chentouf, A. M'dallal (en collaboration avec G. Sallet et D.X. Feng)

Nous étudions le contrôle et la régulation des systèmes hyperboliques non-linéaires d'une façon générale. Dans un premier temps, nous nous consacrons essentiellement à des EDP à deux variables indépendantes. L'exemple typique est fourni par les équations de Saint Venant. L'objectif est d'étudier différentes politiques de contrôle tel le P.I.D. classique, la seconde méthode de Lyapunov, le contrôle H^∞ et le contrôle optimal. Les applications intéressantes sont représentées par des canaux d'irrigation et des échangeurs thermiques. Nous avons déjà obtenu certains résultats de stabilisation en utilisant la seconde méthode de Lyapunov et le principe de linéarisation. Nous voulons aussi entamer une étude numérique pour la mise en oeuvre de ces lois de contrôle.

4.3.4 Analyse spectrale des générateurs de systèmes de vibration

C.Z. Xu, B. Chentouf (en collaboration avec G. Weiss, B.Z. Guo et D.X. Feng)

Nous voulons développer l'analyse spectrale et étudier le comportement asymptotique du spectre et de vecteurs propres généralisés pour une classe de systèmes de vibration gouvernés par des EDP avec contrôles internes ou frontières dissipatives. On s'intéresse à la distribution géométrique du spectre asymptotique. Ceci nous permet de déduire certaines propriétés sur l'ensemble des vecteurs propres, par exemple, la génération d'une base de Riesz par ces vecteurs propres généralisés est une propriété très désirée. Le résultat obtenu sera appliqué pour le problème de stabilisation. En particulier, il sera utile pour déterminer une co-localisation optimale capteurs/actionneurs. Nous avons déjà obtenu certains résultats dans ce sens-là pour des modèles de poutre Euler-Bernouilli et de corde vibrante non-homogène. Nous voulons généraliser ces résultats pour le modèle de Timoshenko qui fait l'objet du post-doc D.H. Shi en cours.

4.3.5 Applications

Les applications des systèmes hybrides sont :

- des systèmes mécaniques en rotations muni de structures souples. Le problème est de stabiliser ces structures ;
- La stabilisation de systèmes en vibrations par des contrôles ponctuels. Ce type de contrôle est plus réaliste que les contrôles répartis proposés en général dans la littérature ;
- La régulation des canaux d'irrigations. On propose une commande robuste qui stabilise le niveau de l'eau dans le canal, en dépit des prélèvements aléatoires le long des biefs du canal. Il se pose également des problèmes d'observation, puisque le niveau ou le débit n'est mesuré qu'en quelques points. La compétence du projet en ce qui concerne les techniques de stabilisation en dimension finie a pu servir pour proposer des lois de commandes pour le modèle des équations de Saint-Venant ;
- Les systèmes dont un représentant générique est l'échangeur thermique à contre-courant. En effet, nombre de processus industriels se modélisent par des systèmes identiques ou

proches de celui de l'échangeur. Nous étudions ces systèmes du point de vue des observateurs et de la stabilisation.

4.4 Modélisations et commandes de systèmes à fluides sous pression

Résumé : *On mène ici à la fois une activité d'analyse de modèles et de commande non linéaire. Il s'agit d'établir un ensemble de propriétés des modèles pour faciliter la synthèse de lois de commandes et pour comprendre l'influence de certaines hypothèses de modélisation. La recherche de lois de commandes peut ensuite se faire en utilisant les techniques de Lyapunov-Lasalle. Les commandes en mode glissant sont également considérées. Une comparaison des deux techniques est en cours.*

Des observateurs pour les lois de commandes sont proposés. Une étude d'observateurs pour la détection et l'isolation de panne pour les systèmes hydrauliques est en cours.

5 Résultats nouveaux

5.1 Stabilisation des systèmes par feedback

5.1.1 Systèmes en dimension finie

Participants : Philippe Adda, Ourida Chabour, Rachid Chabour, Abdelahk Ferfera, Abderamhan Iggidr, Gauthier Sallet, Jean-Claude Vivalda, Hanine Zenati.

Nous avons obtenu une série de résultats sur la stabilisation des systèmes non affines. La technique utilisée a également pu s'appliquer aux systèmes discrets.

La classe des systèmes bilinéaires et des systèmes homogènes est toujours étudiée. Leur étude permet de proposer des commandes pour les systèmes bilinéaires en dimension infinie d'une grande importance pratique.

Les systèmes composites, c'est à dire comportant une partie linéaire ou bilinéaire avec une partie non linéaire ont pu être stabilisés par feedback. Les résultats ont pu être étendus aux systèmes composites discrets ainsi qu'aux systèmes composites stochastiques.

Des lois stabilisantes avec rejet de perturbation avec singularité ont été obtenues.

Enfin la modélisation et le contrôle d'un essieu directionnel par contrôle hydraulique ont été validés en simulation et expérimentalement ainsi que la stabilisation d'un système hydraulique pilote.

Notons aussi qu'une généralisation de certains résultats de stabilisation a été établie : il s'agit d'utiliser des fonctions semi-définies comme fonctions de Lyapunov à la place de fonctions définies, ce qui rend les méthodes plus simples à appliquer.

5.1.2 Systèmes hybrides

Participants : Jean-François Couchouren, Boumediène Chentouf, Salah M'Dallal,

Gauthier Sallet, Cheng-Zhong Xu.

Les principaux résultats concernent la stabilisation de systèmes bilinéaires, de systèmes d'ordre 1 (Equations de Saint-Venant), d'équations de vibrations dans différentes configurations. Nous avons proposé des lois mélangeant des techniques de contrôle classique avec des lois spécifiques aux EDP. Les contrôleurs ainsi obtenus sont très performants.

5.2 Observateurs

Nous avons pu construire plusieurs observateurs pour une classe de systèmes que nous avons appelés de type Hessenberg. Cela signifie que la matrice jacobienne du système est une matrice Hessenberg supérieure. Si les termes au-dessus de la diagonale ne s'annulent pas alors on peut construire un observateur par différentes techniques. Ces techniques sont soit des techniques de grand gain, soit basés sur un observateur de type Kalman étendu, calculé dans une base particulière, soit encore un observateur avec facteur d'oubli. Ces trois observateurs convergent et, en simulation, sont également robuste aux bruits. Le type grand gain est à ce moment préférable car plus économique en calculs. Nous avons appliqué ces observateurs à un chemostat (culture d'algues en continu) avec succès. Les résultats sont particulièrement bons pour un système biologique. La validation du modèle a pu en être déduite pour des entrées n'agitant pas trop le système (périodicité en dessous de 6 heures).

Un observateur pour des systèmes bilinéaires à paramètres répartis a été construit à partir de résultats analogues en dimension finie.

Un observateur pour une population exploitée de poissons a été obtenu (un article sur le sujet sera publié prochainement).

Pour certains systèmes discrets, la genericité de l'observabilité ainsi que l'existence d'un observateur ont été démontrés.

Des principes de séparation pour des systèmes particuliers ont été démontrés. Par principe de séparation, on entend que si l'on sait qu'une loi de commande par retour d'état $u(x)$ stabilise le système alors $u(\hat{x})$ le stabilise aussi. Ce principe bien connu en linéaire n'est plus vrai en général.

Dans le cadre d'une application à un bioréacteur des résultats de stabilisation par un observateur continu discret, avec des mesures comportant des retards ont été démontrés.

6 Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)

Le pôle hydraulique associant le projet Congé et le projet ACS (CRAN) est constitué. Ce pôle fournira des applications de la recherche aux industriels. Un contrat sur un banc d'essai hydraulique est signé. Il doit être exécuté en 2000 avec la société Hydrotechnique.

7 Actions régionales, nationales et internationales

7.1 Actions régionales

Le pôle de compétence en électro-hydraulique et électro-pneumatique est adossé à Congé et ACS-Cran. L'objectif est de constituer une force régionale en « Fluid Power ». Un groupe de travail fonctionne entre Longwy et Metz depuis deux ans. Des expérimentations sont conduites à Longwy sur un équipement commun pour valider la pertinence des lois de commandes proposées.

7.2 Actions nationales

Congé est membre du PRC CNRS « Commande des systèmes à fluide sous pression » du GDR Automatique. Les responsables sont S.Scavarda (LAI), D. Thomasset (LAI) et E. Richard (Congé et ACS).

Congé est une des équipes fondatrice du GDR 1107 (« Méthodes et modèles de l'automatique dans l'étude de la dynamique des écosystèmes et des ressources renouvelables ») du programme environnement et participe régulièrement à ses travaux.

Un séminaire triangulaire Metz-Nancy-Strasbourg sur les problèmes de contrôle des systèmes à paramètres répartis fonctionne depuis la rentrée de septembre 1997 (en collaboration avec Numath).

Le projet Congé, avec le projet Commore et une équipe de l'INRA Montpellier, ont obtenu une action du GDR Automatique pour l'étude des observateurs grands gains et leur application aux réacteurs biologiques.

Un travail commun est également en cours avec les projets Sosso et Meta2. Il s'agit de systèmes modélisés par des équations différentielles avec retard et opérateur signe. La problématique pour notre projet consiste en la synthèse d'observateurs ne disposant que du signe d'une mesure en guise d'observation. Ce type d'étude trouverait des applications dans la commande de moteurs thermiques (régulation de la richesse du mélange en carburant). Une demande d'ARC a été déposée à ce propos.

7.3 Réseaux et groupes de travail internationaux

Un réseau de mathématique appliquée pour l'Afrique subsaharienne est constitué, sous l'égide du Cimpa et de l'ITCP (Trieste). Les chercheurs de Congé y participent pour ce qui concerne le Contrôle. Participants : Université de Nice, Lagep (Lyon), Congé, Numath, Paris VI, CMA Polytechnique Besançon, Université de Strasbourg, Universités du Bénin, du Cameroun, du Sénégal, du Burkina-Faso, du Niger et du Tchad.

Un DEA a été mis en place à Cotonou (Bénin) en 1998 pour ce réseau. Il a diplômé 5 étudiants, dont 4 vont soutenir des thèses en cotutelle dans le projet Congé (Cameroun, Tchad, Bénin, Burkina Faso).

7.4 Relations bilatérales internationales

Une action de coopération entre le projet Congé et l'équipe IDMEC (Instituto De MECa-nica) de l'Université de Porto, dans le cadre de l'accord de coopération entre l'Inria et l'ICCTI, est en place sur le thème de l'application des systèmes non linéaires aux procédés hydrauliques et pneumatiques.

Le projet Congé est responsable d'un Pics CNRS avec le Maroc, finissant en 2000. Ce Pics regroupe, outre Congé, le Lagep (Lyon), le laboratoire d'Automatique de Marrakech et l'Ensem de Casablanca. Un thésard de l'Université de Marrakech est co-encadré par A. Iggidr sur la modélisation de systèmes de pêche et leur contrôle.

Un PRA sur deux ans avec la Chine se terminera en 2000.

Un accord bilatéral CMCU (Comité mixte Franco-Tunisien pour la coopération universitaire) avec la Tunisie (Université de Sfax) permet l'accueil de chercheurs tunisiens qui ont été formés dans le projet. Un DEA commun a été enseigné en 1999 à l'Université de Sfax. En outre, il est prévu d'accueillir deux étudiants en thèse en cotutelle.

7.5 Accueils de chercheurs étrangers

- Tunisie : M.A. Hammami et H. Jerbi (Université de Sfax), 1 mois chacun
- Portugal : F. Gomes de Almeida (Université de Porto), 15 jours
- Russie : M. Kamenski (Université de Voronezh), 1 mois
- Chine : D-X. Feng (Academia Sinica Beijing), 15 jours

8 Diffusion de résultats

8.1 Animation de la communauté scientifique

G. Sallet est membre du comité de direction du GDR 1107, et participe au DEA de l'IPCP à Porto Novo.

C-Z. Xu est Editeur associé de la revue "IEEE Transactions on Automatic Control".

8.2 Enseignement universitaire

G. Sallet assure un cours de DEA Contrôle optimal et équations différentielles à l'Université de Metz sur les observateurs non linéaires.

8.3 Autres enseignements

R. Chabour et G. Sallet ont assuré un cours de Théorie du Contrôle de trois semaines chacun en DEA à Cotonou (Bénin).

8.4 Participation à des colloques, séminaires, invitations

G. Sallet était chairman d'une session au congrès mondial IFAC'99, 5-9 juillet, Pékin (Chine).

G. Sallet a donné une conférence invitée à l'Academia Sinica Beijing le 12 juillet, et a donné à un séminaire dans le cadre du PRA avec la Chine.

A. Iggidr et J.-C. Vivalda étaient chairmen d'une session au 38th IEEE CDC, 7-10 décembre, Phoenix (USA).

9 Bibliographie

Ouvrages et articles de référence de l'équipe

- [1] O. BERNARD, G. SALLET, A. SCIANDRA, « Nonlinear observers for a class of biological systems: Applications to validation of phytoplanktonic growth model », *IEEE Transactions on Automatic Control* 43, 8, 1998, p. 1056–1066.
- [2] R. CHABOUR, G. SALLET, J.-C. VIVALDA, « Stabilization of nonlinear systems: A bilinear approach », *Mathematical of Control, Signals and Systems* 6, 1993, p. 224–246.
- [3] A. IGGIDR, M. BENSOUBAYA, « New Results on the stability of Discrete-Time Systems and Application to Control Problems », *Journal of Mathematical Analysis and Applications* 219, 1998, p. 392–414.
- [4] A. IGGIDR, B. KALITINE, R. OUTBIB, « Semi-definite Lyapunov Functions, Stability and Stabilization », *Mathematics of Control, Signals and Systems* 9, 1996, p. 95–106.
- [5] C.-Z. XU, G. SALLET, « On spectrum and Riesz basis assignment of infinite dimensional linear systems by bounded linear feedbacks », *SIAM Journal of Control and Optimization* 34, 2, 1996, p. 521–541.

Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [6] W. AGGOUNE, *Contribution à la stabilisation de systèmes non linéaires : Application aux systèmes non réguliers et aux systèmes à retards*, thèse de doctorat, Université de Metz, juin 1999.
- [7] H. ZENATI, *Methodes de stabilisation des systèmes homogènes*, thèse de doctorat, Université de Metz, juin 1999.

Articles et chapitres de livre

- [8] M. BENSOUBAYA, A. FERFERA, A. IGGIDR, « Stabilization of nonlinear systems by use of semidefinite Lyapunov functions », *Applied Math. Letters* 12, 1999, p. 11–17.
- [9] M. BENSOUBAYA, A. FERFERA, A. IGGIDR, « Jurdjevic-Quinn type theorem for stochastic nonlinear control systems », *IEEE Transactions on Automatic Control*, à paraître.
- [10] O. CHABOUR, R. CHABOUR, H. ZENATI, « Asymptotic and practical stabilization of bilinear systems », *Systems and Control Letters*, à paraître.
- [11] R. CHABOUR, A. FERFERA, « Singularity for static state feedback linearizable bilinear systems », *IEEE Transactions on Automatic Control* 44, 8, 1999.
- [12] R. CHABOUR, M. OUMOUN, « On a universal formula for the stabilization of control stochastic systems », *Stochastic Analysis and Applications* 17, 3, 1999, p. 359–368.
- [13] B. CHENTOUF, J.-F. COUCHOURON, « Nonlinear feedback stabilization of a rotating body-beam without damping », *The international journal ESAIM: Control, Optimization and Calculus of Variations* 4, 1999, p. 515–535.
- [14] B. CHENTOUF, C.-Z. XU, G. SALLET, « On the stabilization of a vibrating equation », *Nonlinear Analysis: Theory, Methods and Applications* 39, 5, 1999, p. 537–558.

- [15] M. J. F. MAZENC, R. SEPULCHRE, « Lyapunov functions for stable cascades and applications to global stabilization », *IEEE Transactions on Automatic Control*, à paraître.
- [16] F. MAZENC, A. ASTOLFI, « Robust output feedback stabilization of a rigid body », *Systems and Control Letters*, à paraître.
- [17] F. MAZENC, L. PRALY, « Asymptotic tracking of a state reference for systems with a feedforward structure », *Automatica*, à paraître.
- [18] O. MORGÜL, M. FEKI, « A chaotic masking scheme by using chaotic systems », *Phys. Letters A.*, janvier 1999, p. 169–176.
- [19] M. PENGOV, E. RICHARD, J.-C. VIVALDA, « On global stabilization of nonlinear systems with continuous-discrete observers », *Automatica*, à paraître.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [20] W. AGGOUNE, M. BOUTAYEB, M. DAROUACH, « Observers design for a class of nonlinear systems with time-varying delay », in : *Proceedings of the 38th IEEE Conference on Decision and Control, December 7-10, Phoenix, Arizona, USA, IEEE, 1999.*
- [21] W. AGGOUNE, M. DAROUACH, « Memoryless Hinf controllers for a class of differential delay systems », in : *Proceedings of the 38th IEEE Conference on Decision and Control, December 7-10, Phoenix, Arizona, USA, IEEE, 1999.*
- [22] W. AGGOUNE, M. DAROUACH, « Nonlinear observers for a class of differential delay systems », in : *Proceedings of the 7th IEEE Mediterranean Conference on Control and Automation, June 28 -30, Haifa, Israel, 1999.*
- [23] W. AGGOUNE, G. SALLET, M. DAROUACH, « Stabilisation par commande par mode de glissement d'une classe de systèmes non linéaires à retards », in : *Actes des Journées Doctorales d'Automatiques, JDA'99, 21-23 septembre, Nancy, p. 41-44, 1999.*
- [24] M. BENSOUBAYA, A. FERFERA, A. IGGIDR, « Stabilization of nonlinear stochastic discrete systems », in : *Proceedings of the 38th IEEE Conference on Decision and Control, December 7-10, Phoenix, Arizona, USA, 1999.*
- [25] B. CHENTOUF, J.-F. COUCHOURON, « Nonlinear feedback stabilization of a rotating body-beam system », in : *Proceedings of the IFAC World Congress 1999, E, IFAC, p. 159-164, 1999.*
- [26] M. FEKI, E. RICHARD, F. G. DE ALMEIDA, « Commande en effort d'un vérin hydraulique par linéarisation entrée/sortie », in : *Actes des Journées Doctorales d'Automatiques, JDA'99, 21-23 septembre, Nancy, p. 181-184, 1999.*
- [27] A. IGGIDR, B. KALITINE, G. SALLET, « Lyapunov Theorems with Semidefinite Functions », in : *Proceedings of the 14th Triennial IFAC World Congress, July 5-9, Beijing, P.R. China, p. 231-236, 1999.*
- [28] A. IGGIDR, B. KALITINE, J. VIVALDA, « New Lyapunov-like theorems for non Lipschitz vector fields », in : *Proceedings of the 38th IEEE Conference on Decision and Control, December 7-10, Phoenix, Arizona, USA, 1999.*
- [29] A. IGGIDR, A. OUAHBI, J. VIVALDA, « On the Control of an Exploited Population of Fish », in : *Proceedings of the European Control Conference, ECC'99, August 31 - September 3, Karlsruhe, Germany, 1999.*
- [30] A. IGGIDR, M. OUMOUN, J. VIVALDA, « Feedback stabilization of discrete-time nonlinear systems via the Control Lyapunov functions », in : *Proceedings of the 38th IEEE Conference on Decision and Control, December 7-10, Phoenix, Arizona, USA, 1999.*
- [31] A. IGGIDR, J. VIVALDA, « On the observability of a class of nonlinear discrete-time systems », in : *Proceedings of the 38th IEEE Conference on Decision and Control, December 7-10, Phoenix, Arizona, USA, 1999.*

- [32] H. LAOUSY, B. CHENTOUF, « Boundary feedback stabilization of a hybrid system », *in: Proceedings of the IFAC World Congress 1999, D*, IFAC, p. 225–229, 1999.
- [33] R. OUTBIB, W. AGGOUNE, M. DAROUACH, « A remark on stabilization of nonsmooth systems », *in: Proceedings of the European Control Conference, August 31 - September 3, Karlsruhe, Germany*, 1999.
- [34] M. PENGOV, E. RICHARD, J.-C. VIVALDA, « On stabilization using continuous-discrete observers », *in: Proceedings of the American Control Conference (ACC'99), June 2-4, San Diego, USA*, 1999.