

Projet CONGE

Contrôle Géométrique des Systèmes Non Linéaires

Lorraine

THÈME 4A



*R*apport
d'Activité

2001

Table des matières

1	Composition de l'équipe	2
2	Présentation et objectifs généraux	2
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	Systèmes biologiques	6
4.3	Modélisation et commande de systèmes à fluides sous pression	6
4.4	Application du contrôle géométrique aux télécommunications	7
5	Résultats nouveaux	7
5.1	Stabilisation des Systèmes en dimension finie	7
5.2	Observateurs	8
6	Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)	8
7	Actions régionales, nationales et internationales	8
7.1	Actions régionales	8
7.2	Actions nationales	9
7.3	Relations bilatérales internationales	9
7.3.1	Maroc	9
7.3.2	Algérie	9
7.3.3	Tunisie	9
7.3.4	Afrique subsaharienne	9
7.3.5	Cameroun	10
7.3.6	Allemagne	10
7.3.7	Europe	10
7.4	Accueils de chercheurs étrangers	10
8	Diffusion de résultats	10
8.1	Animation de la communauté scientifique	10
8.2	Enseignement universitaire	11
8.3	Participation à des colloques, séminaires, invitations	11
9	Bibliographie	11

Congé est un projet commun à l'INRIA et à l'Université de Metz via le laboratoire de mathématiques (CNRS LMMAS FRE-2344).

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Gauthier Sallet [Professeur (Université de Metz)]

Responsable permanent

Jean-Claude Vivalda [CR]

Assistante de projet

Christel Wiemert [TR]

Personnel Inria

Abderrahman Iggidr [CR]

Frédéric Mazenc [CR]

Personnel Université

Philippe Adda [maître de conférences]

Rachid Chabour [maître de conférences]

Edouard Richard [maître de conférences]

Chercheurs doctorants et post doctorants

Cyrille Aboky [bourse du gouvernement togolais]

Sabeur Ammar [bourse de coopération franco-tunisienne]

Ourida Chabour [ingénieur expert jusqu'en septembre 2001 puis ATER]

Samuel Bowong [doctorant, cotutelle Cameroun]

Jean-Claude Kamgang [doctorant, cotutelle Cameroun]

Aminou Layaka [doctorant, cotutelle Tchad]

Collaborateur extérieur

Woihida Aggoune [Post-doc au CRPHT, Luxembourg]

2 Présentation et objectifs généraux

Le projet Congé est un projet commun entre l'INRIA, le CNRS et l'Université de Metz et il est un axe de recherche du laboratoire MMAS (Méthodes Mathématiques d'Analyse des Systèmes) (CNRS FRE-2344).

Les centres d'intérêt du projet s'articulent autour des systèmes non linéaires, l'accent étant mis sur l'étude des systèmes qui paraissent significatifs du point de vue des applications concrètes. Plus particulièrement, le projet étudie les problèmes liés à la stabilisation et à l'observation mais les problèmes de modélisation et de simulation se trouvent aussi dans la problématique du projet.

Stabiliser un système autour d'un point d'équilibre consiste à trouver un feedback (statique ou dynamique) qui rende l'équilibre asymptotiquement stable. Les outils utilisés sont multiples : backstepping, feedforwarding, fonctions semi-définies positives,...

Un observateur 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 ce qui concerne les relations industrielles, Congé est membre fondateur avec l'équipe ACS-Cran du centre de ressources *Hydraulica* qui s'est donné pour but, entre autres, d'appliquer les techniques de l'automatique moderne à la modélisation et la commande des machines hydrauliques. Le projet est impliqué, avec d'autres partenaires, dans l'ACI Pal+. Cela donnera lieu à l'organisation d'un séminaire rassemblant tous les participants en 2002 pour la mise en place du projet de recherche. Les partenaires sont l'IRD, l'IMTSSA (Institut de Médecine Tropicale du Service de Santé des Armées), l'Institut Pasteur, le Ministère de la Recherche du Cameroun, l'université de Yaoundé. Enfin, un projet RNRT avec Alcatel, Thomson, la société HighWave et l'ENSTB a été labellisé en 2001 et continuera en 2002.

Une convention de coopération a été signée entre le projet et le Centre de Génie Sismique d'Alger et une coopération avec la faculté des sciences de Sfax (Tunisie) dans le cadre d'un projet CMCU (1997–2000). Le projet a aussi des relations avec le Bénin (IMSP à Porto Novo) et le Cameroun (université de Yaoundé).

3 Fondements scientifiques

3.1 Stabilisation des systèmes par feedback

Résumé :

On considère des systèmes en dimension finie du type :

$$\dot{x} = f(x, u)$$

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 aux bruits de mesures et aux perturbations.

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.

Une technique de stabilisation est l'utilisation du théorème de Jurdjevic-Quinn : si on considère un système affine en le contrôle $\dot{x} = f(x) + ug(x)$, si le champ f est dissipatif et si

f et g vérifient une condition portant sur les crochets de Lie $[f, g], [f, [f, g]] \dots$ alors on peut trouver un feedback stabilisateur.

Nous utilisons aussi la technique du *backstepping* qui est adaptée aux systèmes triangulaires inférieurs ; le résultat de base est le suivant : considérons le système

$$\begin{cases} \dot{x} &= f(x) + g(x, y)y \\ \dot{y} &= u + h(x, y) \end{cases} \quad (1)$$

où $x \in \mathbb{R}^n$, $y \in \mathbb{R}$, $u \in \mathbb{R}$ est l'entrée, f et g sont des fonctions de classe C^2 et $f(0) = 0$. S'il existe une loi de commande $x \mapsto v(x)$ stabilisant le sous-système $\dot{x} = f(x) + g(x, v)v$ alors le système (1) est globalement asymptotiquement stabilisable par une loi de commande de classe C^1 . De nombreuses lois de commande stabilisantes peuvent être déterminées grâce à cette technique et il s'agit de choisir celles qui donnent les meilleurs résultats dans un contexte donné.

Le *forwarding* est adapté aux systèmes triangulaires supérieurs du type (forme feedforward) :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 &= h_{01}(x_1) + h_{11}(x_2, \dots, x_n) + h_{21}(x_1, \dots, x_n, u)u \\ \dot{x}_2 &= h_{02}(x_1) + h_{11}(x_3, \dots, x_n) + h_{22}(x_2, \dots, x_n, u)u \\ &\vdots \\ \dot{x}_n &= f_0(x_n) + f_2(x_n, u)u \end{cases} \quad (2)$$

La synthèse d'un feedback stabilisant s'obtient, sous certaines hypothèses, après un changement de variable ; il faut remarquer que les lois de commande obtenues sont bornées.

Notons que les techniques du *backstepping* et du *forwarding* peuvent être combinées entre elles, ce qui permet de stabiliser les systèmes dits entrelacés qui ne sont ni de forme feedback ni de forme feedforward mais peuvent être décomposés en des sous systèmes interconnectés appartenant à ces deux familles.

Un théorème bien connu dû à Lyapunov permet de conclure à la stabilité asymptotique d'un équilibre. Considérons un système $\dot{x} = f(x)$ avec $f(0) = 0$, s'il existe une fonction V définie positive telle que $\frac{\partial V}{\partial x} \cdot f(x)$ est définie négative alors on peut conclure à la stabilité asymptotique de l'équilibre. La connaissance d'une telle fonction de Lyapunov est souvent nécessaire pour la conception d'une loi de commande stabilisante (*cf* *backstepping*). Cependant un résultat (dû à Kalitine et Bulgakov) permet d'utiliser des fonctions qui sont seulement *semi-définies* positives, la recherche de telles fonctions est évidemment plus simple et leur utilisation permet de trouver plus facilement des feedbacks stabilisants.

Enfin, le projet s'intéresse depuis peu aux systèmes à retard et des résultats sont obtenus.

3.2 Observateurs

Résumé : *On considère un système physique qui est modélisé par un ensemble d'équations différentielles du type :*

$$\begin{cases} \dot{x} &= f(x, u) \\ y &= h(x) \end{cases} \quad (3)$$

où la fonction d'observation h représente l'ensemble des mesures qui sont faites sur le système physique. Un observateur est un système dynamique auxiliaire :

$$\begin{cases} \dot{z} = \Phi(z, y, u) \\ \hat{x} = \theta(z) \end{cases} \quad (4)$$

qui fournit à tout instant une estimation $\hat{x}(t)$ de l'état réel $x(t)$. Plus précisément :

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

Si tous les paramètres du système (3) sont connus avec suffisamment de précision et s'il est possible de concevoir un observateur, un solveur d'équations différentielles permet d'obtenir une estimation de l'état du système (3). C'est pourquoi, lorsque le système (4) est implémenté sur une machine, on parle de capteur logiciel.

Le projet étudie et construit des observateurs pour des systèmes en dimension finie. 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 non linéaires avec une partie $\Phi(x, u)$ Lipschitz du type :

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + \Phi(x, u) \\ y = Cx \end{cases} \quad (5)$$

forment également une classe intéressante de systèmes. Le terme $\Phi(x, u)$ peut être indifféremment interprété soit comme une perturbation soit comme une incertitude. 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.

Souvent, pour les systèmes issus des bioprocédés, il n'est pas possible d'obtenir des mesures en temps continu : la fonction h du système (3) ci-dessus est alors remplacée par une fonction à valeurs discrètes. Il s'agit alors de concevoir un observateur continu-discret.

Avant de concevoir un observateur, il est nécessaire de s'intéresser à l'observabilité. Une définition de ce concept est la suivante : le système (3) est *observable* si, étant donnés deux conditions initiales, $x_0 \neq \bar{x}_0$, il existe une entrée u telles que les solutions correspondantes $x(t)$ et $\bar{x}(t)$ sont telles que $h(x(t)) \neq h(\bar{x}(t))$ pour tout t dans un ensemble de mesures non nulles. D'un point de vue théorique, il est important de savoir si les systèmes observables sont « nombreux », c'est pourquoi nous étudions le problème de la généralité de l'observabilité pour les systèmes discrets.

4 Domaines d'applications

4.1 Panorama

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

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

- *systèmes biologiques, environnement,*
- *modélisation et commande des systèmes à fluides sous pression,*
- *santé, épidémiologie,*
- *application du contrôle géométrique aux télécommunications.*

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, les modèles épidémiologiques (paludisme, tuberculose, ...)
C'est ainsi qu'une station d'épuration ou un méthaniseur sont des bioréacteurs et relèvent de cette problématique.

4.2 Systèmes biologiques

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 une autre modélisation où ce 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 aux chemostats, ainsi qu'aux modélisations de stations d'épuration pour la conception d'observateurs. Les modèles de pêcherie sont actuellement à l'étude. Une méthode de régulation a été proposée et un observateur a été construit.

Le projet a amorcé une recherche pluridisciplinaire (biologistes, médecins, épidémiologistes, entomologistes, statisticiens, etc ...) sur l'apport de l'Automatique dans l'étude des modèles épidémiologiques du paludisme à *Falciparum*. Cela a conduit au dépôt d'une ACI Pal+ qui commencera par un atelier en 2002. Les problèmes concernent la modélisation de l'immunité, de la chimiorésistance du parasite, de la morbidité et de la mortalité, de l'impact des moustiquaires imprégnées. Nous disposerons d'un nombre important de données (10 années) en provenance du Sénégal, du Cameroun et de la Côte d'Ivoire.

4.3 Modélisation et commande de systèmes à fluides sous pression

On mène ici à la fois une activité de modélisation, d'analyse de modèles et de conception de lois de commande non linéaires. Il s'agit d'établir un ensemble de propriétés des modèles pour faciliter la synthèse de lois de commande et pour comprendre l'influence de certaines hypothèses de modélisation. La recherche de lois de commande peut ensuite se faire en utilisant diverses techniques : Lyapunov-Lasalle, mode glissant.

Depuis le recrutement de F. Mazenc, les techniques de feedforward et de backstepping ont été appliquées aux systèmes hydrauliques. Les résultats sont intéressants en simulation. Il reste des problèmes de réglages et d'expérimentation.

Des observateurs pour les lois de commande sont proposés. Une étude d'observateurs pour la détection et l'isolation de pannes pour les systèmes hydrauliques fait l'objet d'une thèse.

Une recherche sur les études parasismiques a commencé en liaison avec les vérins hydrauliques.

4.4 Application du contrôle géométrique aux télécommunications

Il s'agit ici principalement du contrôle dynamique de la polarisation. Dans la formalisation de la représentation géométrique de la lumière polarisée par la sphère de Poincaré, les milieux biréfringents se traduisent par des rotations, ou encore par des isométries de la sphère. L'utilisation des quaternions permet d'obtenir des formulations analytiques commodes pour l'action d'un polariseur. (Pellat-Finet, Bruyère). L'algorithme de contrôle de la polarisation se traduit par une optimisation sur une surface géométrique et se ramène à une poursuite de trajectoire sur la sphère de Riemann.

Dans sa généralité, le problème posé est le suivant :

- Le contrôleur de polarisation doit pouvoir accéder, quel que soit l'état de polarisation d'entrée, à n'importe quel état de polarisation en sortie ;
- La vitesse de contrôle de la polarisation doit être supérieure aux vitesses maximales de variation de la polarisation rencontrées dans les fibres optiques. Ces variations peuvent être naturelles (variations thermiques, vibrations...) ou d'origine humaine (manipulations de fibres dans les terminaux) ;
- La précision de l'état de polarisation de sortie doit être grande (quelques degrés de déviation au plus par rapport au point idéal) ;
- Le contrôle doit être sans butée, sans temps mort, sans remise à zéro.

5 Résultats nouveaux

5.1 Stabilisation des Systèmes en dimension finie

Participants : Philippe Adda, Ourida Chabour, Rachid Chabour, Abderrahman Iggidr, Gauthier Sallet, Jean-Claude Vivalda.

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.

Des résultats sur la stabilité de systèmes épidémiologiques adaptant des résultats de Lasalle et de Kalitine ont été obtenus, ainsi que des résultats de robustesse pour la stabilisation. Un algorithme original de distance à la détectabilité a été obtenu.

Les techniques des fonctions semi-définie positives ainsi que le backstepping et feedforward trouvent des applications à des systèmes réels (hydrauliques, électro-mécaniques).

5.2 Observateurs

Participants : Jean-Claude Vivalda, Gauthier Sallet, Abderrahman Igdir, Cyrille Aboky.

La construction d'observateurs pour des systèmes assez généraux du type :

$$\begin{cases} \dot{x} &= Ax + g(x, u) \\ y &= Cx \\ x &\in \mathbb{R}^n \end{cases}$$

où la paire (C, A) est supposée observable et $g(x, u)$ uniformément globalement lipschitzienne a été obtenue en relation avec la distance de la paire (C, A) à la paire la plus proche ayant un mode imaginaire non observable et la constante de Lipschitz. Ce résultat s'applique aux robots à articulation flexible.

Un observateur pour une population exploitée de poissons a été obtenu.

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

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)

- Un contrat de recherche sur la modélisation et la synthèse de lois de commande avec la société Hydro-Technic en collaboration avec l'équipe ACS du CRAN (un an).
- Un contrat avec Alcatel (business division) sur le contrôle de la PMD se terminera en 2002.
- Un projet RNRT a été labellisé (Copoldyn) avec Alcatel, Thomson, Highwave et l'ENST-B. Il a commencé en janvier 2001 et a une durée de 28 mois.

7 Actions régionales, nationales et internationales

7.1 Actions régionales

Un centre de ressources Hydraulica été créé entre le projet Congé et l'équipe ACS du CRAN. Il est financé à hauteur de 1 206 KF par la DRRT en 1999 et à hauteur de 1,7 MF par la DRIRE sur trois ans. L'inauguration a eu lieu le 7 juin 2000. Le centre de ressources couvre les activités théoriques et appliquées relatives à la modélisation, la simulation et la commande des systèmes et installations utilisant un fluide sous pression comme support de l'énergie. L'historique de sa création est rappelé dans le paragraphe suivant.

7.2 Actions nationales

Congé est une des équipes fondatrices 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.

Le projet Congé, avec le projet Comore et une équipe de l'INRA Montpellier, ont obtenu une action du GDR Automatique pour l'étude des observateurs grand gain et leur application aux réacteurs biologiques. Les résultats ont été présentés au GDR Automatique d'Autrans.

7.3 Relations bilatérales internationales

7.3.1 Maroc

Le projet Congé collabore avec 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.

7.3.2 Algérie

Une coopération avec le centre national de recherche appliquée en génie parasismique d'Alger (CGS) se développe sur l'identification et le contrôle passif et actif des systèmes en génie parasismique (convention de coopération).

7.3.3 Tunisie

Un projet de coopération CMCU (97 F 1401) a fonctionné de 1996 à 2000 : contrôle géométrique et feuilletage. Des relations étroites existent entre l'Université de Sfax et le projet Congé. Échanges d'étudiants, cours à Sfax . . .

7.3.4 Afrique subsaharienne

L'ICTP et le CIMPA ont décidé de soutenir à l'IMSP de Porto-Novo l'émergence d'une activité mathématique nouvelle. L'expérience a donc été tentée et a pris la forme de la création d'une "formation doctorale régional de théorie du contrôle". L'engagement du CIMPA était de 100 000 FF par an. L'engagement de l'ICTP était de financer des bourses en Afrique pour 5 étudiants.

La décision de soutenir une expérience originale au Bénin avait été le résultat d'un long processus démarré en 1993 par l'appel d'offre commun CIMPA-ICTP pour la création d'un "centre d'excellence" en Afrique subsaharienne à l'horizon 2000. L'examen des 5 dossiers reçus par le CIMPA a rapidement fait apparaître que créer un centre national était une illusion, aucun pays de la région n'ayant un potentiel mathématique et une volonté politique suffisants pour créer un tel centre. Il a donc été décidé de soutenir une activité régionale (regroupant plusieurs pays), la formule de la formation doctorale a émergé petit à petit.

Le Bénin a été choisi comme lieu où serait dispensé la formation doctorale. Suite à une école CIMPA tenue en 1997 (directeur G. Sallet), le cours de DEA de contrôle a démarré en septembre 1998 (Sallet, Xu et Chabour ont participé à ce DEA). Cinq très bons étudiants ont

été sélectionnés. Six modules sur les huit prévus ont été réalisés suite à la défaillance d'un professeur français et d'un professeur africain. Les cinq mémoires de DEA ont été soutenus en novembre 1999. Ces cinq étudiants sont actuellement inscrit en thèse de cotutelle encadrés dans l'avant-projet Corida par C.Z. XU (2 étudiants) et G. Sallet (3 étudiants). Les co-tutelles sont avec le Bénin, le Burkina Faso, le Tchad et le Cameroun.

7.3.5 Cameroun

Une recherche sur la modélisation mathématique du paludisme à *Falciparum*, centrée au Cameroun est amorcée. Cette recherche regroupe le projet Congé, des laboratoires de l'IRD, l'Université de Yaoundé I, l'Institut de Médecine Tropicale du Service de Santé des Armées et le Centre de Modélisation à Yaoundé CARIM (dépendant du Ministère de la Recherche camerounais).

Cette activité s'est traduit par le dépôt d'une ACI PAL+ en juin 2001, une école a eu lieu à Yaoundé en septembre 2000, un atelier est prévu en 2002.

Deux étudiants en cotutelle au Cameroun travaillent sur ce thème ainsi que sur la tuberculose.

7.3.6 Allemagne

Une collaboration avec "The Institute for Systems Theory in Engineering University of Stuttgart" est en cours.

7.3.7 Europe

Le projet Congé fait partie dans le cadre des Marie Curie Fellowships Européens du Control Training Site (CTS). Le contrat a été signé par l'administration des Communautés Européennes en décembre 2001. G. Sallet est membre de l'Editorial Board du CTS.

7.4 Accueils de chercheurs étrangers

- Biélorussie : B. Kalitine (Université de Minsk), 2 mois ;
- Cameroun : C.M. Mahop (Université de Ngaoundéré), 2 mois ;
- Tchad : R. Koina (Université de N'Djamena), 2 mois ;
- Russie : I.V Burkov (Université de Saint Petersburg), 9 mois.

8 Diffusion de résultats

8.1 Animation de la communauté scientifique

Le projet participe et est membre fondateur du GDR CNRS 1107 CoRev : Modèles et théorie pour le contrôle de ressources vivantes et la gestion de systèmes écologiques (1993-1997 et 1997-2001).

Le projet participe au GDR Automatique et avec Comore (J.-L. Gouzé et O. Bernard) Sophia-Antipolis), l'Université de Mulhouse (Sari) et l'INRA Montpellier (Rappaport) a obtenu du GDR le financement d'un groupe de travail "Grand Gain".

Le projet est membre fondateur d'*Hydraulica*, centre de ressources en électro-hydraulique et électro-pneumatique. Ce centre est financé par la DRRT (1 169 670 F + 247 562 F) et la DRIRE (50 000F + 1 417 233 F) du 1/07/99 au 30/11/2001. L'objectif est que Hydraulica soit autofinancé en 2002.

8.2 Enseignement universitaire

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

8.3 Participation à des colloques, séminaires, invitations

G. Sallet a été invité à l'école d'été de l'ICTP Mathematical Control Theory à Trieste (septembre 2001)

9 Bibliographie

Livres et monographies

- [1] G. SALLET, *An introduction to mathematical epidemiology of infectious diseases*, ICPTP Lectures notes, 2001.

Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [2] C. ABOKY, *Contribution à l'observation et la stabilisation des systèmes incertains*, thèse de doctorat, Université de Metz, 2001.
- [3] M. FEKI, *Synthèse de commandes et d'observateurs pour les systèmes non linéaires : application aux systèmes hydrauliques*, thèse de doctorat, Université de Metz, 2001.

Articles et chapitres de livre

- [4] C. ABOKY, G. SALLET, J.-C. VIVALDA, « Observers for Lipschitz non linear systems », *Int. J. Control*, à paraître.
- [5] R. CHABOUR, B. KALITINE, « Semi-Definitive Lyapunov Functions Stability and Stabilization », *IEEE Trans. Aut. Cont.*, à paraître.
- [6] A. IGGIDR, G. SALLET, « On the stability of nonautonomous systems », *Automatica*, à paraître.
- [7] F. MAZENC, NICULESCU, « Lyapunov Stability Analysis for Nonlinear Delay Systems », *System & control letter* 42, 4, 2001, p. 245–241.
- [8] F. MAZENC, E. RICHARD, « Stabilization of Hydraulic Systems using a Passivity Property », *System & control letter* 44, 2, 2001, p. 111–117.
- [9] A. OUAHBI, A. IGGIDR, M. E. BAGDOURI, « Stabilization of an Exploited Fish Population. », *Systems Analysis Modelling Simulation*, à paraître.

- [10] M. PENGOV, E. RICHARD, J.-C. VIVALDA, « On the boundedness of the continuous Riccati Equation », *J. of Inequal. & Appl.*, 2001, p. 641–649.
- [11] E. RICHARD, J.-C. VIVALDA, « Mathematical analysis of stability and drift behavior of hydraulic cylinders driven by a servovalve », *ASME Journal DSMC*, à paraître.
- [12] C. XU, G. SALLET, « Exponential stability and transfer functions of processes governed by symmetric hyperbolic systems », *ESAIM-COCV*, à paraître.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [13] S. AMMAR, J.-C. VIVALDA, « On the preservation of observability under sampling », *in : Proc. 40th IEEE-CDC*, 2001.
- [14] I. BURKOV, « Adaptive stabilization and estimation in system with periodic disturbances », *in : 5th IFAC NOLCOS*, 2001.
- [15] R. CHABOUR, « Stabilization of Bilinear Systems », *in : Proc. International Conference on Analytical Methods of Analysis and Differential Equations (AMADE)*, 2001.
- [16] F. MAZENC, S. BOWONG, « Tracking Trajectories of Feedforward Systems : Application to the Cart-pendulum System. », *in : Proc. 40th IEEE-CDC*, 2001.
- [17] F. MAZENC, I. FANTONI, R. LOZANO, « Control of the PVTOL aircraft using the forwarding technique and a Lyapunov approach. », *in : Proc. ECC*, 2001.
- [18] F. MAZENC, A. IGGIDR, « Backstepping with Bounded Feedbacks for Systems not in Feedback Form. », *in : 5th IFAC NOLCOS*, 2001.
- [19] F. MAZENC, S. MONDIÈ, S. NICULESCU, « Global Asymptotic Stabilization for Chains of Integrators with a Delay in the Input. », *in : Proc. 40th IEEE-CDC*, 2001.
- [20] F. MAZENC, J.-C. VIVALDA, « Global Asymptotic Output Feedback Stabilization of Feedforward Systems. », *in : Proc. ECC*, 2001.