

# *Projet CONGE*

*Contrôle Géométrique des Systèmes Non Linéaires*

*Metz*

THÈME 4A



*R*apport  
*d'Activité*

2000



---

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Composition de l'équipe</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Présentation et objectifs généraux</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Fondements scientifiques</b>	<b>4</b>
3.1	Stabilisation des systèmes par feedback . . . . .	4
3.2	Observateurs . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Domaines d'applications</b>	<b>6</b>
4.1	Panorama . . . . .	6
4.2	Systèmes biologiques . . . . .	7
4.3	Applications des systèmes hybrides . . . . .	7
4.4	Modélisations et commandes de systèmes à fluides sous pression . . . . .	8
4.5	Application du contrôle géométrique aux télécommunications . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Résultats nouveaux</b>	<b>9</b>
5.1	Systèmes en dimension finie . . . . .	9
5.2	Observateurs . . . . .	9
5.3	Systèmes hybrides . . . . .	10
<b>6</b>	<b>Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>Actions régionales, nationales et internationales</b>	<b>11</b>
7.1	Actions régionales . . . . .	11
7.2	Actions nationales . . . . .	11
7.3	Relations bilatérales internationales . . . . .	11
7.3.1	Maroc . . . . .	11
7.3.2	Chine . . . . .	11
7.3.3	Algérie . . . . .	11
7.3.4	Tunisie . . . . .	12
7.3.5	Afrique subsaharienne . . . . .	12
7.3.6	Cameroun . . . . .	12
7.4	Accueils de chercheurs étrangers . . . . .	12
<b>8</b>	<b>Diffusion de résultats</b>	<b>13</b>
8.1	Animation de la communauté scientifique . . . . .	13
8.2	Enseignement universitaire . . . . .	13
8.3	Participation à des colloques, séminaires, invitations . . . . .	13
<b>9</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>13</b>

*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]

### Personnel Inria

Abderamhan Iggidr [CR]

Frédéric Mazenc [CR]

Cheng-Zhong Xu [CR]

### Personnel Université

Philippe Adda [maître de conférences]

Rachid Chabour [maître de conférences]

Jean-François Couchouren [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]

Abdelhakim Benchabana [bourse de coopération franco-algérienne]

Moez Feki [bourse du gouvernement tunisien]

Salah M'Dallal

Ourida Chabour [ATER jusqu'en septembre 2000]

Hanine Zenati [ATER jusqu'en septembre 1999]

## Collaborateurs extérieurs

Boumediène Chentouf [Post-doc au CEMAGREF]

Woihida Aggoune [Post-doc au CRPHT, Luxembourg]

Samuel Bowong [doctorant, cotutelle Cameroun]

Jean-Claude Kamgang [doctorant, cotutelle Cameroun]

Aminou Layaka [doctorant, cotutelle Tchad]

Judicaël Deguenon [doctorant, cotutelle Burkina Faso]

Abdoua Tchouso [doctorant, cotutelle Burkina Faso]

## 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 UPRES-A-7035).

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, à titre secondaire, 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, CONGE 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 une ACI VIH/Pal ainsi que dans la constitution d'un projet CRAFT portant sur l'instrumentation et le contrôle des petites stations d'épuration. Enfin, un projet RNRT déposé avec Alcatel, Thomson la société HighWave et l'ENSTB a été labellisé et débutera en 2001.

Sur le plan international, le projet a été responsable du PICS CNRS 78 avec le Maroc. Un Projet de Recherche Avancé (PRA M97-05) a été financé avec la Chine. 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 Youndé).

### 3 Fondements scientifiques

#### 3.1 Stabilisation des systèmes par feedback

**Résumé :**

*On considère des systèmes du type :*

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

*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 :**

**Système 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.

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  $x \in \mathbf{R}^n$ ,  $y \in \mathbf{R}$ ,  $u \in \mathbf{R}$  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  $\partial V \partial x \cdot f(x)$  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.

Le projet étudie aussi 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.

### 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 syst-obs 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 syst-obs. C'est pourquoi, lorsque le système obs est implémenté sur une machine, on parle de capteur logiciel.*

Le projet étudie et construit des observateurs pour des systèmes en dimension finie ou infinie. 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.

Souvent, pour les systèmes issus des bioprocédés, il n'est pas possible d'obtenir des mesures en temps continu : la fonction  $h$  du système syst-obs ci-dessus est alors remplacée par une fonction à valeurs discrètes. Il s'agit alors de concevoir des 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 syst-obs 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 mesure non nulle. 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 généricité de l'observabilité pour les systèmes discrets.

## 4 Domaines d'applications

### 4.1 Panorama

**Mots clés :** environnement, électro-hydraulique, électro-pneumatique, système hybride.

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

- *systèmes biologiques, environnement, santé,*
- *stabilisation et observations de structures hybrides,*
- *modélisations et commandes des systèmes à fluides sous pression.*
- *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 épidémiologique du paludisme. 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 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 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 épidémiologique du paludisme à *Falciparum*. Cela a conduit au dépôt d'une ACI VIHPal qui commencera par un atelier en janvier 2001 au Cameroun. 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 Applications des systèmes hybrides

C.Z. Xu, J-F. Couchouren (en collaboration avec G. Sallet et J. Baillieul) étudient 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.

C.Z. Xu, B. Chentouf, A. M'dallal (en collaboration avec G. Sallet, D.X. Feng et O. Malaterre (CEMAGREF)) étudient 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 telles que le P.I.D. classique, la seconde méthode de Lyapunov, le contrôle  $H^\infty$  ou 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 œuvre de ces lois de contrôle.

#### 4.4 Modélisations et commandes 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 commandes et pour comprendre l'influence de certaines hypothèses de modélisation. La recherche de lois de commandes peut ensuite se faire en utilisant diverses techniques : Lyapunov-Lasalle, mode glissant. Avec 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 commandes sont proposés. Une étude d'observateurs pour la détection et l'isolation de panne pour les systèmes hydrauliques fait l'objet d'une thèse.

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

#### 4.5 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 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.

Une version stochastique du théorème de Jurdjevic-Quinn pour des systèmes affines en contrôle, avec des bruits multiplicatifs a été établie

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. Cette méthode s'applique aussi aux systèmes discrets. La technique des fonctions semi-définies positives trouve des applications à des systèmes réels. (hydrauliques, electro-mécaniques).

### 5.2 Observateurs

**Participants** : Jean-Claude Vivalda, Gauthier Sallet, Abderamhan Iggidr, Cyrille Aboky.

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 basées 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).

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

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

où la paire  $(C, A)$  est supposée observable et  $g(x, u)$  uniformément globalement Lipschitz 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 genericité de l'observabilité ainsi que l'existence d'un d'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.

### 5.3 Systèmes hybrides

**Participants :** Jean-François Couchouon, 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.

## 6 Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)

- Un contrat de recherche sur la modélisation et la synthèse de lois de commandes 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 polarisation.
- Un projet RNRT a été déposé (Copoldyn) avec Alcatel, Thomson, Highwave et l'ENST-B et vient d'être labellisé. Il commencera en janvier 2001 pour une durée de 28 mois.
- Un projet Européen CRAFT est en constitution avec le centre de recherche public Henri Tudor (Luxembourg) et une moyenne entreprise sur l'ins tr u men tation et le contrôle de petites stations d'épurations.

## 7 Actions régionales, nationales et internationales

### 7.1 Actions régionales

Un centre de ressource Hydraulica été crée entre le projet CONGE et l'aquipe ACS du CRAN. Il est financé à hauteur de 1206KF par la DRRT en 1999 et à hauteur de 1,7MF par la DRIRE sur trois ans. L'inauguration est prévue le 7 juin 2000. Le centre de ressources couvre les activité théoriques et appliquées relatives à la modélisation, simulation et commande des systèmes et installations utilisant un fluide sous pression comme support de l'énergie. L'historique de sa création est rappelée dans le paragraphe suivant.

### 7.2 Actions nationales

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.

### 7.3 Relations bilatérales internationales

#### 7.3.1 Maroc

Le projet Congé est responsable du PICS CNRS 78 avec le Maroc, (1997-2000). Ce PICS CNRS 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. Quatre stagiaires ont travaillé sur la commande de systèmes hydrauliques.

#### 7.3.2 Chine

Un projet de recherche avancé PRA M97-05 a été financé de 1997 à fin 1999 sur les mathématiques appliquées au biotechnologies. Le laboratoire Chinois correspondant est le Laboratory of Systems end control de l'Institute of Systems Science de l'Académie des Sciences de Chine.

#### 7.3.3 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)

### 7.3.4 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. Echanges d'étudiants, cours à Sfax ...

### 7.3.5 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 le projet par C.Z. XU (2 étudiants) et G. Sallet (3 étudiants). Les cotutelles sont avec le Bénin, le Burkina Faso, le Tchad et le Cameroun.

### 7.3.6 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 MINRES Camerounais).

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

Deux étudiants en cotutelle au Cameroun travaillent sur ce thème.

## 7.4 Accueils de chercheurs étrangers

- Biélorussie : B. Kalitine (Université de Minsk), 2 mois ;
- Tchad : R. Kohina (Université de N'Djamena).

## 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 (JL Gouze 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 gains".

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.

Dans le cadre de ce centre, une journée technique a été organisée conjointement avec l'équipe ACS-Cran le 23 juin 2000. Cette journée a regroupé des industriels et ses chercheurs. (Congé, ACS-Cran). De plus, le projet a financé avec la région Lorraine une chaire doctorale destinée au fonctionnement de ce centre.

### 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 Participation à des colloques, séminaires, invitations

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

## 9 Bibliographie

### Articles et chapitres de livre

- [1] T. AHMED-ALI, F. MAZENC, F. LAMNABHI-LAGARRIGUE, Springer Verlag, 1999, ch. Inverse optimal stabilization for discrete-time nonlinear systems: Application to feedforward systems.
- [2] M. BENSOUBAYA, A. FERFERA, A. IGGIDR, «Jurdjevic-Quinn type theorem for stochastic nonlinear control systems», *IEEE Transactions on Automatic Control*, 45, 2000, p. 93–97.
- [3] J. COUCHOURON, «Problème de Cauchy non autonome pour des equations d'évolution», *Potential Analysis*, à paraître.
- [4] J. COUCHOURON, M. KAMENSKI, «An abstract topological point of view and a general averaging principle in the theory of differential inclusions», *Nonlinear Analysis TMA*, à paraître.
- [5] J. COUCHOURON, P. LIGARIUS, «Evolution equations governed by families of weighted operators», *Ann. Inst. Henri Poincaré*, 16, 1999, p. 299–334.

- [6] M. DAROUACH, P. PIERROT, E. RICHARD, «Design of Reduced Order Observer without Internal Delays», *IEEE trans. Aut. Cont.*, 44, 1999.
- [7] R. C. ET H. ZENATI O.CHABOUR, «Practical stabilization and stabilizability of homogeneous bilinear systems», *Systems and Control Letters*, à paraître.
- [8] I. FANTONI, R. LOZANO, F. MAZENC, K. PETERSEN, «Stabilization of a nonlinear underactuated hovercraft», *Journal of Robust and Nonlinear Control*, à paraître.
- [9] A. FERFERA, M. HAMMAMI, «Sur la stabilisation des systèmes non linéaires en cascade», *Bull. Belgian Math. Soc.*, à paraître.
- [10] B. GUO, C. XU, «The spectrum-determined growth condition of a vibration cable with a tip mass», *IEEE Transactions on Automatic Control*, 45, 2000, p. 89–93.
- [11] F. MAZENC, A. ASTOLFI, «Robust output feedback stabilization of a rigid body», *Systems and Control Letters*, 39, 2000, p. 203–210.
- [12] F. MAZENC, S. NICULESCU, «Lyapunov Stability Analysis for Nonlinear Delay Systems », *Systems and Control Letters*, à paraître.
- [13] F. MAZENC, L. PRALY, «Asymptotic tracking of a state reference for systems with a feedforward structure», *Automatica*, 36, 2000, p. 179–187.
- [14] F. MAZENC, R. SEPULCHRE, , M. JANKOVIC, «Lyapunov functions for stable cascades and applications to global stabilization», *IEEE Trans. Automat. Control.*, 44, 1999.
- [15] F. MAZENC, *NCN Nonlinear Control in the year 2000*, Springer-Verlag, 2000, ch. Differentiable Lyapunov Function and Center Manifold Theorem.
- [16] R. OUTBIB, J. VIVALDA, «On feedback stabilization of smooth nonlinear systems», *IEEE Trans. Aut. Cont.*, 44, 1999.
- [17] M. PENGOV, E. RICHARD, J. VIVALDA, « On global stabilization of nonlinear systems with continuous-discrete observers», *Automatica*, à paraître.
- [18] M. PENGOV, E. RICHARD, J. VIVALDA, «On the Boundedness of the Solutions of the Continuous Riccati Equation», *Journal of inequalities and applications*, à paraître.

### Communications à des congrès, colloques, etc.

- [19] C. ABOKY, J. VIVALDA, «Observability of linear systems with unknown inputs», *in: Proc. CDC 2000*, 2000.
- [20] P. ADDA, H. ZENATI, «On the stabilization of homogeneous systems in the plane», *in: Proc. 14th Triennial IFAC World Congress*, p. 283–287, July 5–9 1999.
- [21] T. AHMED-ALI, F. MAZENC, F. LAMNABHI-LAGARRIGUE, «Inverse optimal stabilization for discrete-time nonlinear systems: Application to feedforward systems», *in: Proceedings of the 14th world congress IFAC*, p. 283–287, July 5–9.
- [22] A. ASTOLFI, M.-C. LAIOU, F. MAZENC, «New results and examples on a class of discontinuous controllers», *in: Proceedings of the ECC conference*, 1999.

- 
- [23] A. ASTOLFI, F. MAZENC, «A geometric characterization of feedforward systems», *in: Proceedings of the MTNS*, 2000.
- [24] O. BERNARD, A. SCIANDRA, G. SALLET, «Use of a nonlinear sensor to monitor the internal state of a culture microalgæ.», *in: Proceedings of the 14th world congress IFAC*, p. 145–150, July 5–9 1999.
- [25] M. BOUTAYEB, D. AUBRY, M. DAROUACH, E. RICHARD, «On the States and Parameters Estimation of Discrete-Time Systems. Design and Experimental Results», *in: Proceedings of ACC'99*, juin 1999.
- [26] O. CHABOUR, R. CHABOUR, H. ZENATI, «Homogeneous stabilizing feedbacks for homogeneous systems», *in: Proc. the 2000 American Control Conference*, 2000.
- [27] B. CHENTOUF, C. XU, P. MALATERRE, G. SALLET, «A robust pi controller for hayami model», *in: Proc. Conférence Internationale Francophone d'Automatique*, 2000.
- [28] B. CHENTOUF, «Stability of a nonlinear first order hyperbolic system: Application to a flexible torque arm», *in: Proc. the 2000 American Control Conference*, 2000.
- [29] M. EL BAGDOURI, A. IGGIDR, A. OUAHBI, «On the stabilization of an exploited fish population», *in: Proc. CIMASI 2000 3rd Intl. Conf. on Applied Mathematics and Engineering Sciences*, 2000.
- [30] I. FANTONI, R. LOZANO, F. MAZENC, A. ANNASWAMY, «Stabilization of a two-link robot using an energy approach», *in: Proceedings of the ECC conference*, 1999.
- [31] M. FEKI, J.-C. VIVALDA, «Nonlinear observer design application to an electrohydraulic system», *in: Proc. CIMASI 2000 3rd Intl. Conf. on Applied Mathematics and Engineering Sciences*, 2000.
- [32] A. IGGIDR, M. OUMOUN, J. VIVALDA, «State estimation for a fish population via a nonlinear observer», *in: Proc. the 2000 American Control Conference*, 2000.
- [33] A. IGGIDR, J. VIVALDA, «A simple observer for nonlinear discrete-time systems, application to a population dynamics model», *in: Proc. the 2000 American Control Conference*, 2000.
- [34] F. MAZENC, A. ASTOLFI, «Robust output feedback stabilization of a rigid body», *in: Proceedings of the 14th world congress IFAC*, July 5–9 1999.
- [35] F. MAZENC, S. NICULESCU, «Lyapunov Stability Analysis for Nonlinear Delay Systems», *in: Proc. CDC 2000*, 2000.
- [36] F. MAZENC, «Strict Lyapunov Functions for Feedforward Systems and Applications», *in: Proc. CDC 2000*, 2000.
- [37] M. OUMOUN, «Global stabilization of affine stochastic systems with bounded controls», *in: Proc. the 2000 American Control Conference*, 2000.
- [38] E. RICHARD, A. IGGIDR, «On the dynamic behaviour of a hydraulic cylinde», *in: Proc. CDC 2000*, 2000.
- [39] C. XU, D. FENG, «Symmetric hyperbolic systems and applications to exponential stability of heat exchangers and irrigation canals», *in: Proc. MTNS*, 2000.

- [40] C. XU, G. SALLET, «Proportional and integral regulation of irrigation canal systems governed by the saint-venant equation», *in: Proceedings of the 14th world congress IFAC*, p. 147–152, July 5–9 1999.