

*Projet conge**Contrôle Géométrique des Systèmes Non
Linéaires**Lorraine*

THÈME 4A



*R*apport
*d'**A*ctivité

2002

Table des matières

1. Composition de l'équipe	1
2. Présentation et objectifs généraux	1
3. Fondements scientifiques	2
3.1. Stabilisation des systèmes par feedback	2
3.1.1. Backstepping et feedforwarding	2
3.1.2. Fonctions semi-définies positives	2
3.2. Observateurs	3
4. Domaines d'application	3
4.1. Panorama	3
4.2. Electro-hydraulique	4
4.3. Moteurs à grande vitesse	4
4.4. Épidémiologie	4
4.5. Application du contrôle géométrique aux télécommunications	5
6. Résultats nouveaux	6
6.1. Stabilisation des systèmes non linéaires en dimension finie	6
6.2. Fonctions semi-définies positives	6
6.3. Observateurs	6
6.4. Biosystèmes	6
6.5. Épidémiologie	6
6.6. Systèmes hydrauliques	7
7. Contrats industriels	7
8. Actions régionales, nationales et internationales	7
8.1. Actions régionales	7
8.2. Actions nationales	7
8.3. Relations bilatérales internationales	7
8.3.1. Maroc	7
8.3.2. Algérie	7
8.3.3. Tunisie	8
8.3.4. Afrique subsaharienne	8
8.3.5. Europe	8
8.4. Accueils de chercheurs étrangers	8
9. Diffusion des résultats	8
9.1. Animation de la communauté scientifique	8
9.2. Écoles d'été et de printemps	8
9.3. Enseignement universitaire	9
9.4. Participation à des colloques, séminaires, invitations	9
9.5. Organisation de colloque	9
10. Bibliographie	9

1. Composition de l'équipe

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

Responsable scientifique

Jean-Claude Vivalda [CR Inria]

Assistante de projet

Christel Wiemert [AI Inria]

Personnel Inria

Abderrahman Iggidr [CR Inria]

Frédéric Mazenc [CR Inria]

Personnel Université

Philippe Adda [Maître de conférences - Université de Metz]

Rachid Chabour [Maître de conférences - Université de Metz]

Édouard Richard [Maître de conférences - Université de Nancy I]

Gauthier Sallet [Professeur - Université de Metz]

Chercheurs invités

Boris Kalitine [Université de Minsk - Biélorussie (1 mois)]

Rodoumta Koina [Université de N'Djamena - Tchad (1 mois)]

Chercheurs doctorants

Sabeur Ammar [Bourse de coopération franco-tunisienne]

Mondher Benjemaa - Boursier tunisien

Samuel Bowong [Doctorant, cotutelle Cameroun - Stagiaire]

Jean-Luc Dimi [Doctorant, cotutelle Congo - Boursier MAE]

Ismaïl Gourragui [Bourse Inria-LGIPM, cotutelle LGIPM]

Mohamed Mabrouk [Bourse tunisienne]

Jean-Claude Kamgang [Doctorant, cotutelle Cameroun - Bourse MAE en alternance]

Papa Ibrahima N'Diaye [Doctorant, cotutelle Inra et Université St Louis du Sénégal - Bourse régionale]

Post doctorants

Woihida Aggoune [Ingénieur expert Inria (jusqu'en sept. 2002)]

Ourida Chabour [Ingénieur expert Inria (à compter d'oct. 2002)]

Collaborateurs extérieurs

Gabriel Abba [Professeur (IUT de Thionville), LGIPM]

François Léonard [Maître de conférences (Enim), LGIPM]

2. Présentation et objectifs généraux

Le projet Congé est un projet commun à l'Inria, au CNRS et à l'Université de Metz à travers le laboratoire MMAS (Méthodes Mathématiques d'Analyse des Systèmes) (CNRS FRE-2344).

Les thèmes de recherche du projet se situent dans le cadre de la théorie des systèmes non linéaires. Plus particulièrement, le projet étudie les problèmes liés à la stabilisation et à l'observation mais les questions de modélisation et de simulation font partie aussi de 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 dynamique auxiliaire dont l'objectif est de fournir une estimation asymptotique des variables d'états du système. L'observateur utilise les données connues du système à savoir ses

entrées (les commandes) et ses sorties (les mesures). Cette technique est bien maîtrisée dans le cadre des systèmes linéaires mais est beaucoup plus délicate à mettre en œuvre dans le cadre non linéaire.

3. Fondements scientifiques

3.1. Stabilisation des systèmes par feedback

Nous considérons des systèmes en dimension finie qui s'écrivent :

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

Le problème de la stabilisation consiste à trouver une loi de commande $u(x)$ (un feedback), dépendant de l'état x , tel que le système $\dot{x} = f(x, u(x))$ (système bouclé) soit asymptotiquement stable. On peut chercher aussi une loi qui ne dépende que de la sortie y : c'est le problème de la stabilisation à travers la sortie.

Dans l'histoire du projet, les techniques de Lyapunov-Lasalle ou de Jurdjevic-Quinn ont joué un grand rôle dans la stabilisation. Si ce terrain n'est pas tout à fait abandonné (généralisation du théorème de Jurdjevic-Quinn à des systèmes non affines en le contrôle [24][27]), notre activité dans ce domaine est plutôt centrée sur les techniques de backstepping, de forwarding et l'utilisation des fonctions semi-définies positives.

3.1.1. Backstepping et feedforwarding

Participants : M. Mabrouk, F. Mazenc, E. Richard, J.-C. Vivalda.

Le résultat de base pour la technique du *backstepping* 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 $\dot{x} = f(x) + g(x, v)v$ (d'entrée 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.

La technique du *feedforwarding* a été inventée par L. Praly et F. Mazenc[28], elle s'applique aux systèmes qui sont du type suivant :

$$\begin{cases} \dot{x} &= Mx + h_1(y) + h_2(x, y, u)u \\ \dot{y} &= f_1(y) + f_2(x, y, u)u \end{cases} \quad (2)$$

En raison de la présence du terme en u dans la première équation, la technique du *backstepping* ne peut être appliquée ; on adopte alors une démarche inverse de celle appliquée pour le *backstepping* : on stabilise d'abord le sous-système en y puis on cherche à stabiliser le système global. Notons que la technique du *forwarding* permet d'obtenir des feedbacks bornés, ce qui, d'un point de vue applicatif, présente un intérêt certain.

3.1.2. Fonctions semi-définies positives

Participants : B. Kalitine, R. Chabour, M. Benjema.

Un théorème bien connu, dû à Lyapunov, permet de conclure à la stabilité asymptotique d'un équilibre : pour un système $\dot{x} = f(x)$ (avec $f(0) = 0$), s'il existe une fonction V définie positive telle que $\nabla V \cdot f(x)$ 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. §3.1.1) mais il n'est pas toujours facile d'en trouver.

Un résultat, peu connu en Occident et dû à Kalitine et Bulgakov[25], 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. Il faut noter que beaucoup de travaux existent sur ce sujet dans la littérature des pays de l'Europe de l'Est : le résultat originel a été étendu aux systèmes discrets, aux EDP, aux systèmes non autonomes périodiques, etc. Le projet travaille à étendre l'utilisation de cette technique aux systèmes non autonomes et aux systèmes stochastiques.

3.2. Observateurs

Participants : S. Ammar, I. Gourragui, A. Iggidr, M. Mabrouk, G. Sallet, J.-C. Vivalda.

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. Plus particulièrement, un sujet d'étude est actuellement la conception d'observateurs pour certains types de systèmes mécaniques (thèse de M. Mabrouk) ou pour le moteur grande vitesse (thèse de I. Gourragui).

Un autre sujet est la conception d'observateurs pour les biosystèmes et plus particulièrement les systèmes modélisant une population de poissons soumise à un effort de pêche. On cherche dans ce cas à maintenir la population autour d'une configuration donnée, mais, comme il n'est pas possible de mesurer toutes les variables d'état, la construction d'un observateur est nécessaire.

Avant de chercher à concevoir un observateur, il est nécessaire de s'intéresser au problème de l'observabilité. Une définition de ce concept est la suivante : le système (3) est dit *observable* si, étant données deux conditions initiales, $x_0 \neq \bar{x}_0$, il existe une entrée u telle que les solutions correspondantes $x(t)$ et $\bar{x}(t)$ vérifient l'inégalité $h(x(t)) \neq h(\bar{x}(t))$ pour tout t dans un ensemble de mesures non nulles. Pour pouvoir construire un observateur pouvant converger avec une vitesse arbitraire, l'observabilité est une condition nécessaire. D'un point de vue théorique, il est donc 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'application

4.1. Panorama

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

- modélisation et commande des systèmes à fluides sous pression ;

- application du contrôle géométrique aux télécommunications ;
- modélisation et commande des moteurs à grande vitesse ;
- santé (épidémiologie) ;
- systèmes biologiques, environnement.

4.2. Électro-hydraulique

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

Participants : E. Richard, J.-C. Vivalda, F. Mazenc.

Il s'agit d'appliquer les techniques de l'automatique non linéaire aux systèmes utilisant un fluide sous pression comme source d'énergie. Dans ce domaine, nous menons aussi une activité de modélisation et d'analyse des propriétés mathématiques du modèle. Les principaux problèmes que nous comptons aborder dans ce domaine sont :

- la modélisation et l'amélioration du fonctionnement d'une machine à découpe jet d'eau ;
- la synthèse de lois de commande pour les presses hydrauliques.

Ces travaux s'effectuent dans le cadre du centre de ressource HYDRAULYCA dont il est question plus loin.

4.3. Moteurs à grande vitesse

Participants : G. Abba, I. Gourragui, F. Léonard, J.-C. Vivalda.

L'usinage grande vitesse (UGV) a connu un développement considérable ces dernières années. Sous l'impulsion d'une forte demande de l'industrie aéronautique, on a développé des centres d'usinage à grande vitesse pour réaliser des pièces de grande précision en aluminium, en titane, et leurs alliages. Cette technologie permet d'usiner des matériaux très durs (verre, céramique). De plus, des conditions de coupe spécifiques conduisent à l'obtention d'un meilleur état de surface à moindre coût. L'industrie mécanique s'est ensuite largement attachée à développer l'UGV pour la fabrication de pièces plus conventionnelles.

Le projet entame cette année une collaboration avec le LGIPM (Laboratoire de Génie Industriel et Production Mécanique) en coencadrant une thèse portant sur la modélisation et l'observabilité des variables d'état des moteurs à très grande vitesse (100 000 à 400 000 tr/min) développés au sein du LGIPM. Les problèmes rencontrés sont multiples :

- il n'existe pas de modèle mathématique précis pour toute la plage de fonctionnement de ces moteurs ;
- à de telles vitesses, se pose le problème de la saturation de la commande ;
- la mesure de la position angulaire du rotor ne peut se faire qu'à travers un observateur.

4.4. Épidémiologie

Participants : Ph. Adda, A. Iggidr, G. Sallet, J.-L. Dimi, J.-C. Kamagang, S. Bowong.

L'épidémiologie est un thème d'étude nouveau pour le projet, une partie d'entre nous s'étant investie dans cette problématique depuis quelques années. Les modèles épidémiologiques ont la propriété d'être suffisamment non linéaires pour constituer un défi mathématique intéressant, mais aussi suffisamment simples pour permettre d'obtenir des résultats applicables.

Les maladies émergentes et réémergentes ont conduit à un regain d'intérêt pour l'étude des maladies infectieuses, si bien que les modèles mathématiques sont devenus des outils importants dans l'analyse de la propagation et du contrôle des pathologies infectieuses. Ces modèles et les simulations informatiques sont des outils expérimentaux pour construire, tester des théories, répondre à des questions spécifiques, déterminer la sensibilité de certains paramètres, déterminer des paramètres à partir de données épidémiologiques. Comprendre les caractéristiques de la transmission d'une maladie infectieuse dans une communauté, une région, un pays peut mener à de meilleures approches pour faire décroître la transmission de cette maladie.

Les modèles mathématiques peuvent être utilisés pour comparer, planifier, mettre en place, évaluer, optimiser différents programmes de détection, de prévention, de thérapie et de contrôle d'une maladie. La modélisation épidémiologique peut aussi contribuer à la conception et à l'analyse de sondages épidémiologiques. Elle peut aussi suggérer les données cruciales à collecter, identifier des tendances, faire des prévisions et estimer l'incertitude de ces prévisions.

L'étude mathématique des maladies infectieuses représente un des domaines les plus anciens et aussi un des plus riches des biomathématiques (cf. l'ouvrage de Bailey[23] qui contient plus de 700 références dans ce domaine). C'est pourquoi, il existe un cadre mathématique standard et maintenant bien établi : voir l'ouvrage de Hethcote[26] et ses références. Les outils de base sont les systèmes dynamiques (discrets, PDE, ODE, systèmes à retards...) ainsi que les systèmes stochastiques.

Nous pouvons espérer obtenir quelques résultats significatifs sur le paludisme et la tuberculose en modèle intra-hôte, en particulier en ce qui concerne la compréhension des feedbacks impliquant deux classes de lymphocytes auxiliaires Th_1 et Th_2 . La dynamique génétique et la diversité hôte-parasite semblent avoir des implications majeures pour la dynamique du contrôle de l'évolution de la résistance et du contrôle de l'émergence de nouveaux pathogènes. Des modèles qui incorporeraient la réponse immunitaire avec la chimiorésistance seraient d'une importance considérable et devraient donner des indications pour des stratégies thérapeutiques.

Dans un premier temps nous nous intéressons principalement aux systèmes modélisés par des équations aux différences ou par des équations différentielles ordinaires. Une raison est que ces domaines sont les points forts de l'équipe, une autre raison importante est que c'est dans cet axe que les outils opérationnels sont les plus nombreux. Une originalité supplémentaire de notre approche est d'utiliser l'automatique comme outil d'investigation (identification, identifiabilité, observabilité, feedbacks...)

4.5. Application du contrôle géométrique aux télécommunications

Participants : W. Agoune, O. Chabour, J.-C. Vivalda.

Il s'agit ici principalement du contrôle dynamique de la polarisation. Dans la formalisation de la représentation géométrique de la lumière polarisée sur la sphère de Poincaré, les milieux biréfringents se traduisent par des rotations.

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.

L'algorithme de contrôle de la polarisation se ramène à une poursuite de trajectoire sur la sphère de Riemann ; son originalité tient au fait qu'il fonctionne avec deux contrôleurs de polarisation au lieu de trois habituellement.

6. Résultats nouveaux

6.1. Stabilisation des systèmes non linéaires en dimension finie

Participants : S. Bowong, F. Mazenc, J.-C. Vivalda.

Nous avons obtenu un certain nombre de résultats nouveaux concernant la stabilisation des systèmes en dimension finie. Signalons en particulier les références [9] et [14] dans lesquelles les techniques du *forwarding* apportent des outils nouveaux pour le traitement de deux problèmes importants de l'automatique : la poursuite de trajectoire et la stabilisation à travers la sortie.

L'article [13] est intéressant d'un point de vue à la fois applicatif et théorique car la loi de commande qui y est exposée a été effectivement testée sur une maquette de bateau de l'Université de Trondheim.

6.2. Fonctions semi-définies positives

Participants : S. Bowong, B. Kalitine, R. Chabour, M. Benjema.

Une généralisation des résultats de B. Kalitine au cas des systèmes d'équations différentielles non autonomes a été réalisée. Signalons aussi que l'utilisation de fonction semi-définies positives permet de stabiliser facilement certains systèmes mécaniques autour d'un point d'équilibre : dans sa thèse, S. Bowong étudie le cas de la bille en lévitation magnétique. Une extension de la théorie vers les systèmes discrets et stochastiques est étudiée dans la thèse de M. Benjema.

6.3. Observateurs

Participants : J.-C. Vivalda, S. Ammar, G. Sallet.

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 [7].

Sur un plan plus théorique, nous avons étudié le problème de la généricité de l'observabilité pour les systèmes discrets :

$$\begin{cases} x_{k+1} & = f(x_k, u_k) \\ y_k & = h(x_k) \end{cases}$$

Dans [6], est démontré un résultat de généricité dans le cas des systèmes discrets sans contrôle ; ce résultat a été généralisé dans le cadre de la thèse de S. Ammar : nous démontrons que, si le nombre de sorties (la dimension de y) est strictement supérieur au nombre d'entrées (la dimension de u), l'observabilité est une propriété générique.

6.4. Biosystèmes

Participants : A. Iggidr.

Dans le domaine de l'halieutique, une loi de commande portant sur l'effort de pêche et permettant de stabiliser une population de poissons a été étudiée [21].

6.5. Épidémiologie

Participants : Ph. Adda, A. Iggidr, G. Sallet, J.-L. Dimi, J.-C. Kamagang, S. Bowong.

Plusieurs résultats nouveaux ont été obtenus et sont actuellement soumis. En particulier, nous avons mis au point une méthode pour déterminer la stabilité asymptotique globale du point d'équilibre « maladie » (*disease free equilibrium*). Cela nous a permis, en particulier, de démontrer une conjecture de Perelson, sur la dynamique du VIH-1.

6.6. Systèmes hydrauliques

Participants : F. Mazenc, E. Richard, J.-C. Vivalda.

Dans l'article [16] une analyse mathématique d'un système d'équations différentielles modélisant le comportement d'un vérin hydraulique est effectuée. Ce type de travail est original dans le domaine de l'électro-hydraulique.

7. Contrats industriels

Un projet RNRT a été labellisé, il s'agit du projet Copoldyn avec Alcatel, Thomson, Highwave et l'ENST-B. Il a commencé en janvier 2001 et a une durée de 28 mois.

8. Actions régionales, nationales et internationales

8.1. Actions régionales

Un pôle électro-hydraulique a été créé par le projet Congé et l'équipe ACS du Cran en 1997. Récemment, ce pôle s'est transformé en centre de ressources qui a été dénommé « HYDRAULYCA ». Il s'agit d'une structure sans personnalité juridique mais qui existe en vertu d'une convention dans laquelle sont décrits les buts d'HYDRAULYCA et qui règle les relations entre les divers partenaires. Cette convention a été signée entre l'UHP (Nancy 1), l'Inria-Lorraine, le CNRS et l'Université de Metz.

Entre autres objectifs, HYDRAULYCA 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. Le centre a présenté un plan d'action d'une durée de 3 ans à la DRIRE, temps au bout duquel il sera amené à se transformer (CRITT, société de services ?) s'il a montré sa capacité à s'autofinancer au moyens de contrats de recherche ou de prestations de services rendus à l'industrie hydraulique.

8.2. 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.

8.3. Relations bilatérales internationales

8.3.1. Maroc

Le projet Congé collabore avec le laboratoire d'Automatique de Marrakech et l'Ensem de Casablanca. A. Iggidr a participé à l'encadrement de A. Ouahbi, doctorant de l'Université de Marrakech. Cette thèse a été soutenue en avril 2002. Elle portait sur la modélisation de systèmes de pêche et leur contrôle.

8.3.2. 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).

8.3.3. Tunisie

Un projet de coopération CMCU (97 F 1401) a fonctionné de 1996 à 2000 : contrôle géométrique et feuilletage. Un projet de collaboration Inria-Sfax a été déposé.

8.3.4. Afrique subsaharienne

Le ministère des affaires étrangères finance le projet Sarima (Soutien aux Activités de Recherche Informatique et Mathématique en Afrique) à hauteur de 1,6 Meuros sur 4 ans ; les opérateurs en sont l'Inria et le Cimpa, et ce projet soutient 7 équipes africaines.

Le projet Congé en sera l'animateur et le correspondant pour le réseau de l'Afrique Centrale, dont le nœud sera Yaoundé (Cameroun). Le département de Mathématiques de cette ville a choisi l'épidémiologie comme son axe principal. Cela fait suite à une série d'actions dans ce sens :

- école *Mathématiques et malaria* (Yaoundé, 4-15 septembre 2000), Gauthier Sallet, responsable scientifique ;
- semaine épidémiologie dans l'école de l'ITCP à Trieste (*Mathematical control theory*), 21-28 septembre 2001 ;
- atelier *Épidémiologie mathématique* (Nouakchott 1-10 août 2002) ;
- école Cimpa sur l'épidémiologie à Ndjaména (juillet 2003).

L'AUPELF finance un projet mathématiques et malaria entre le projet Congé, le département mathématiques de Yaoundé I et l'université de Brazzaville. Les actions devraient commencer en 2003.

Une thèse en cotutelle avec l'Université de Yaoundé commence en 2003 sur la modélisation de l'établissement de la prémunition au paludisme, à partir des données de l'IRD et de l'Institut Pasteur obtenues à Ndielmo et Ndiop (collaboration de C. Rogier de l'IMTSSA).

Une thèse en cotutelle, projet Congé-INRA-Université de Saint-Louis du Sénégal, va commencer en 2003 sur l'étude et la modélisation de la fièvre de la vallée du Rift (RVF).

8.3.5. 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. Gauthier Sallet est membre de l'Editorial Board du CTS.

8.4. Accueils de chercheurs étrangers

- Biélorussie : B. Kalitine (Université de Minsk), juin 2002 (1 mois) ;
- Tchad : R. Koina (Université de N'Djamena), septembre 2002 (1 mois).

9. Diffusion des résultats

9.1. 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).

9.2. Écoles d'été et de printemps

Participants : A. Iggidr, G. Sallet.

- G. Sallet et A. Iggidr ont participé à l'atelier de modélisation épidémiologique à Cargère, du 4 au 8 mars 2002 ;
- G. Sallet a assuré un cours d'analyse numérique et de traitement des données à l'Université de Brazzaville, du 11 au 23 mars 2002.
- participation de G. Sallet et A. Iggidr à l'atelier du groupe ICTP à Nouakchott du 1^{er} au 10 août (organisation : C. Lobry et G. Sallet).

9.3. Enseignement universitaire

J.-C. Vivalda assure un cours de théorie du contrôle des systèmes non linéaires dans le cadre le DEA de mathématiques appliquées de l'Université de Metz.

9.4. Participation à des colloques, séminaires, invitations

- J.-C. Vivalda a été conférencier invité lors de la journée S3 (Sûreté, Supervision et Surveillance) du 23 janvier 2002 à Paris pendant laquelle il a présenté l'observateur continu-discret développé au sein du projet ;
- R. Chabour s'est déplacé à Alger du 14 au 24 février dans le cadre de la collaboration du projet avec le Centre du Génie Sismique d'Algérie ;
- F. Mazenc a été invité dans le cadre du séminaire organisé par l'institut de théorie des systèmes et des sciences de l'ingénieur de l'Université de Stuttgart, le 14 mai 2002 ;
- A. Iggidr a effectué deux séjours au Maroc, du 26 avril au 3 mai et du 24 juin au 6 juillet, dans le cadre de la collaboration du projet avec l'Université de Marrakech et l'EMI de Rabat ;
- F. Mazenc a effectué un séjour d'un mois, en novembre, à l'Université de Melbourne, puis d'une semaine (du 1^{er} au 8 décembre) au Cinestav à l'Université de Mexico ;
- A. Iggidr et G. Sallet ont participé à l'école de printemps du groupe Corev à Cargèse, du 27 au 30 mai ;
- G. Sallet a été invité du 24 février 2002 au 3 mars 2002 dans le cadre de l'atelier *Regelungstheorie* organisé par le *Mathematische Forschungsinstitut* à Oberwolfach en Allemagne.

9.5. Organisation de colloque

Le projet a organisé un colloque intitulé « Commande des systèmes non linéaires » tenu à Metz les 19, 20 et 21 juin 2002. Le projet entend organiser ce type de manifestation tous les deux ans.

10. Bibliographie

Bibliographie de référence

- [1] O. BERNARD, G. SALLET, A. SCIANDRA. *Nonlinear observers for a class of biological systems : Applications to validation of phytoplanktonic growth model.* in « IEEE Transactions on Automatic Control », numéro 8, volume 43, 1998, pages 1056-1066.
- [2] R. CHABOUR, M. OUMOUN. *On a universal formula for the stabilization of control stochastic nonlinear systems.* in « Stochastic analysis and applications », numéro 3, 1999, pages 359-368.
- [3] R. CHABOUR, G. SALLET, J.-C. VIVALDA. *Stabilization of nonlinear systems : A bilinear approach.* in « Mathematical of Control, Signals and Systems », volume 6, 1993, pages 224-246.
- [4] A. IGGIDR, M. BENSOUBAYA. *New Results on the stability of Discrete-Time Systems and Application to Control Problems.* in « Journal of Mathematical Analysis and Applications », volume 219, 1998, pages 392-414.
- [5] C.-Z. XU, G. SALLET. *On spectrum and Riesz basis assignment of infinite dimensional linear systems by bounded linear feedbacks.* in « SIAM Journal of Control and Optimization », numéro 2, volume 34, 1996, pages 521-541.

Thèses et habilitations à diriger des recherche

- [6] J.-C. VIVALDA. *Contribution à la stabilisation et à l'estimation de l'état des systèmes non linéaires*. Habilitation à diriger des recherches, Université de Metz, 2002.

Articles et chapitres de livre

- [7] C. ABOKY, G. SALLET, J.-C. VIVALDA. *Observers for Lipschitz nonlinear systems*. in « International Journal of Control », numéro 3, volume 75, 2002, pages 204-212.
- [8] A. IGGIDR, G. SALLET. *On the stability of nonautonomous systems*. in « Automatica », numéro 39, 2002, pages 167-171.
- [9] F. MAZENC, S. BOWONG. *Tracking Trajectories of Feedforward Systems*. in « IEEE Transactions on Automatic Control », numéro 8, volume 47, 2002, pages 1338-1342.
- [10] F. MAZENC, S. BOWONG. *Tracking Trajectories of the Cart-pendulum System*. in « Automatica », 2002, à paraître.
- [11] F. MAZENC. *Strict Lyapunov Fonctions for Time-varying Systems*. in « Automatica », 2002, à paraître.
- [12] F. MAZENC, S. MONDIÉ, S. NICULESCU. *Global Asymptotic Stabilization for Chains of Integrators with a Delay in the Input*. in « IEEE Transactions on Automatic Control », 2002, à paraître.
- [13] F. MAZENC, K. PETERSEN, H. NIJMEIJER. *Global Uniform Asymptotic Stabilization of an underactuated Surface Vessel*. in « IEEE Transactions on Automatic Control », numéro 10, volume 47, 2002, pages 1759-1762.
- [14] F. MAZENC, J. VIVALDA. *Global Asymptotic Output Feedback Stabilization of Feedforward Systems*. in « European Journal of Control », 2002, à paraître.
- [15] M. PENGOV, E. RICHARD, J.-C. VIVALDA. *Continuous-discrete observers for global stabilization of nonlinear systems with applications to bioreactors*. in « European journal of control », numéro 5, volume 8, 2002, pages 465-476.
- [16] E. RICHARD, J.-C. VIVALDA. *Mathematical analysis of stability and drift behavior of hydraulic cylinders driven by a servovalve*. in « Journal of Dynamical Systems, Measure and Control (ASME) », numéro 1, volume 124, 2002, pages 206-213.
- [17] C.-Z. XU, G. SALLET. *Exponential stability and transfer functions of processes governed by symmetric hyperbolic systems*. in « ESAIM : Control, Optimisation and Calculus of Variations », volume 7, 2002, pages 421-442.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [18] F. MAZENC, S. MONDIÉ, S. NICULESCU. *Global Stabilization of Oscillators With Bounded Input Delayed*. in « Proceedings of the 42th CDC », Las Vegas, 2002.

- [19] S. MONDIÉ, R. FRANCISCO, F. MAZENC. *Estabilidad asintotica uniforme de un doble integrador con cota y retardo en la entrada*. in « Congreso Latinoamericano IFAC de Control Automatico », Guadalajara, Mexique, 2002.
- [20] S. MONDIÉ, R. LOZANO, F. MAZENC. *Semiglobal Stabilization of continuous systems with bounded delayed inputs*. in « Proc. of the IFAC World Congress », Barcelone, 2002.
- [21] A. OUAHB, A. IGGIDR, M. E. BAGDOURI. *Stabilisation d'une population halieutique*. in « Conférence Internationale Francophone d'Automatique - (CIFA'2002) », 2002.

Rapports de recherche et publications internes

- [22] B. KALITINE, R. CHABOUR. *Semi-definite Lyapunov functions : Stability and Stabilizability*. rapport technique, numéro 2, Université de Metz, 2002, Prépublication du département de mathématiques.

Bibliographie générale

- [23] N. BAILEY. *The mathematical theory of infectious diseases and its applications*. édition 2^e, Hafner, New York, 1975.
- [24] M. BENSOUBAYA, A. FERFERA, A. IGGIDR. *Stabilisation de systèmes non linéaires discrets*. in « CRAS », numéro 321, 1995, pages 371-374.
- [25] N. BOULGAKOV, B. KALITINE. *La généralisation de la deuxième méthode de Lyapunov (I Théorie)*. in « Izv. Akad. Naouk BSSR », numéro 3, 1978, pages 32-36.
- [26] H. HETHCOTE. *The Mathematics of infectious diseases*. in « SIAM Review », numéro 42, 2000, pages 599-653.
- [27] W. LIN. *Global asymptotic stabilization of general nonlinear systems with stable free dynamics via passivity and bounded feedback*. in « Automatica », numéro 6, volume 32, 1996, pages 915-924.
- [28] F. MAZENC. *Stabilisation de trajectoires, Ajout d'intégration, Commandes saturées*. thèse de doctorat, École des mines de Paris, 1996.