

Rapport sur le manuscrit de Christophe Prieur: "Contrôlabilité et stabilisation optimales en dimension finie ou infinie" en vue de l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches

Christophe Prieur a 35 ans, il est Chargé de Recherches au CNRS au LAAS de Toulouse. C'est un ancien élève de l'ENS de Cachan (1996/2000) et il a obtenu son doctorat de mathématiques appliquées en 2001 sous la direction de J.M. Coron et L. Praly. Les thématiques scientifiques sur lesquelles C. Prieur travaille concernent l'Automatique des systèmes continus, plus précisément la commande des systèmes dits "hybrides" et des systèmes de dimension infinie. Le bilan scientifique de C. Prieur est très bon:

- 27 articles de journaux internationaux (dont 19 dans des journaux de premier plan: 3 IEEE Transactions on Automatic Control dont un *regular paper*, 2 Automatica, 3 SIAM J. Control and Optimization, 2 ESAIM COCV, 2 Systems and Control Letters, 3 Math. Control Signals Systems, 1 Nonlinear Analysis Theory Methods Applications). Trois articles sont écrits par C. Prieur seul; dans 12 articles il apparaît en premier auteur;
- 51 communications dans des congrès internationaux avec actes (IEEE Conf. Decision and Control, conférences IFAC, MTNS).

C. Prieur compte parmi ses co-auteurs des noms très connus en Automatique (A. Teel, L. Rosier, E. Trélat, A. Astolfi, G. Bastin) ce qui démontre qu'il a acquis une solide réputation dans la communauté Automatique. Il a également su collaborer avec des collègues d'autres communautés scientifiques lorsque le besoin s'en est fait sentir (par exemple pour établir un modèle de miroir bimorphe). Il a en outre participé à de nombreux projets nationaux et internationaux (deux projets ANR, deux projets européens), a coordonné un projet MathStic avec L. Rosier, effectué de l'enseignement de niveau master ou plus. Enfin, il co-encadre trois thésards et a encadré deux post-doctorants.

Les contributions scientifiques de C. Prieur se divisent en deux grandes classes: les systèmes de dimension finie, et les systèmes de dimension infinie. Je m'étendrai essentiellement sur la première classe, n'étant pas spécialiste des systèmes de dimension infinie.

Le premier problème abordé dans le manuscrit est celui de la stabilisation asymptotique des systèmes non linéaires ne satisfaisant pas la condition de Brockett, par des commandes discontinues "hybrides". Un résultat intéressant obtenu par C. Prieur et ses co-auteurs est la stabilisation asymptotique par feedback hybride (avec un état continu sans discontinuité, si j'ose dire), avec en surplus des propriétés de robustesse qui ne sont pas nécessairement obtenues par d'autres types de feedback discontinus permettant de contourner la condition de Brockett. La clef de ces résultats, qui s'appliquent aux systèmes asymptotiquement commandables, réside dans le fait que le système en boucle fermée possède des solutions dans une classe de fonctions plus large que celles obtenues avec, par exemple, le formalisme de Filippov. Ce résultat concernant la stabilisation par feedback est généralisé au cas d'une classe de systèmes dynamiques hybrides dont la robustesse intrinsèque est démontrée.

Le second problème, présenté dans le chapitre 2 du manuscrit, est celui de la commande optimale. Comme l'on sait les commandes optimales (en temps minimal avec entrée bornée) sont souvent discontinues, et le formalisme "hybride" est naturel dans ce cadre. Un premier résultat concerne la commande par retour d'état borné en temps presque-minimal et avec robustesse de l'intégrateur de Brockett. Là aussi le résultat est étendu à une classe de systèmes plus large, linéaires en l'entrée. Le théorème 2.6 du manuscrit est le résultat central: la commande hybride au sens défini dans le chapitre précédent, permet de résoudre le problème en temps presque-minimal, avec robustesse et stabilité semi-globale, pour des systèmes affines en l'entrée sans dérive. Le problème du calcul numérique est mentionné dans la section 2.1, bien que faisant partie essentiellement des perspectives envisagées par C. Prieur.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude de la stabilité (plus précisément les régions de stabilité) des systèmes soumis à des non-linéarités linéaires par morceaux ou de type hystérésis (saturations, backlash). Le résultat principal de ce chapitre est le théorème 3.1 qui permet de calculer numériquement une estimation du bassin d'attraction pour un système avec des saturations emboîtées, à partir d'un ensemble d'inégalités linéaires matricielles (LMI). Une discussion sur la complexité des méthodes numériques de résolution de ces LMIs est proposée en section 3.2. A ce niveau il serait peut-être intéressant d'envisager une collaboration avec des spécialistes de l'optimisation (volet numérique).

Pour conclure cette première partie concernant les systèmes de dimension finie non différentiables, il me paraît clair que les problèmes abordés par C. Prieur sont tout à fait intéressants et non triviaux, et qu'il a su les mener avec succès. Il indique à la fin du manuscrit un certain nombre de pistes de recherches futures possibles, et je ne doute pas qu'il saura en trouver d'autres encore au fur et à mesure de l'avancement de ses travaux. En effet ce que l'on appelle les systèmes dynamiques hybrides, constitue une classe de systèmes très riche, et les travaux de C. Prieur concernent une sous-classe particulière (avec, entre autres caractéristiques, un état du système continu sans sauts).

La seconde partie du manuscrit est dédiée aux systèmes de dimension infinie. La motivation de C. Prieur provient de la commande des systèmes composés de "matériaux intelligents", plus particulièrement les cellules piézo-électriques. Cette seconde partie est divisée elle aussi en trois chapitres. Le premier chapitre est consacré au problème de la commande d'une poutre flexible modélisée par les équations d'Euler-Bernoulli, munie d'un actionneur piézo-électrique. Le second chapitre concerne la commande d'un miroir bimorphe, pour lequel C. Prieur a calculé un modèle EDP en collaboration avec un collègue mécanicien. Des résultats de commandabilité et de stabilisation sont présentés dans chaque cas d'étude. Le dernier chapitre concerne la commande des systèmes hyperboliques. Ces travaux ont conduit, entre autre, à une validation expérimentale sur un micro-canal disponible dans un laboratoire de l'ESISAR de Valence, publiée dans IEEE Transactions on Control Systems Technology, un journal de référence pour ce qui est des applications en Automatique. Comme je l'ai dit plus haut je ne peux pas juger de la pertinence de ces résultats sur les systèmes de dimension infinie, n'étant pas du tout spécialiste des EDP. Mais compte-tenu des différents journaux dans lesquels les résultats ont été publiés je ne doute pas de leur qualité.

En conclusion le dossier présenté par Christophe Prieur pour valider son Habilitation à Diriger des Recherches est de très bonne tenue et complet. Je recommande donc sans réserve que la soutenance ait lieu à la date prévue.

Mouhombot, le 29 septembre 2009



Bernard Brogliato  
Directeur de Recherche INRIA