

Mines ParisTech
Centre Automatique et Systèmes
Unité Mathématiques et Systèmes
60. Bd. Saint-Michel, 75272 Paris Cedex 06
E-mail : pierre.rouchon@mines-paristech.fr

Paris, le 10 octobre 2009

Rapport concernant le mémoire d'habilitation de Christophe Prieur :
Contrôlabilité et stabilisation optimale en dimension finie et infinie

Connaissant déjà certains travaux de Christophe Prieur j'ai lu avec grand intérêt son mémoire d'habilitation. Christophe Prieur est en fait auteur et/ou co-auteur de 27 articles dans des journaux de premier plan en théorie des systèmes comme Automatica, Systems and Control Letters, IEEE Transactions of Automatic Control, Siam J. Control and Optimization et d'une bonne cinquantaine de communications à des congrès avec comités de lecture et actes. Ce mémoire est en fait une excellente synthèse de ses contributions à la commandabilité et la stabilisation des systèmes décrits par des équations différentielles ordinaires ou des équations aux dérivées partielles.

La première partie du mémoire traite de la stabilisation des systèmes non-linéaires de dimension finie. Les diverses contributions de Christophe Prieur mettent en avant l'intérêt des contrôles discontinus et/ou instationnaires pour élaborer un bon compromis entre robustesse et performance.

Dans le chapitre 1, Christophe Prieur s'intéresse plus particulièrement aux feedbacks hybrides qui mélangent dynamiques discrètes et continues. Il en montre la robustesse intrinsèque aux bruits de mesure et erreurs de modèles. Dans un article paru en 2007 dans IEEE Trans. Automatic Control, Christophe Prieur stabilise avec un feedback hybride tout système asymptotiquement contrôlable. Pour cela, Christophe Prieur propose une définition convaincante de solutions pour un système hybride, définition qui évite l'accumulation autour d'un temps fini des sauts de la variable discrète. Cela permet alors de lever l'obstruction de Brockett et de remplacer les feedbacks statiques discontinus par des feedbacks hybrides pour lesquels les notions de solutions et trajectoires en boucle fermée sont mieux définies. Jean-Michel Coron avait bien montré en quoi le rajout du temps était important pour la stabilisation des systèmes non-linéaires critiques dont le linéaire tangent n'est pas commandable. Ici on voit l'intérêt de rajouter des variables discrètes supplémentaires (variables d'hystérésis avec loi de commutation) pour avoir la stabilisation avec en plus des garanties de robustesse.

Dans le chapitre 2, Christophe Prieur montre qu'un feedback hybride permet de résoudre la synthèse d'une commande presque optimale et robuste. La synthèse optimale (commande en temps minimum par exemple) fait apparaître naturellement des discontinuités. Pour les systèmes sans dérive et linéaires en contrôle, comme ceux rencontrés en mécanique non-holonomie, Christophe Prieur part de la synthèse optimale où les discontinuités du feedback statique optimal sont localisées sur une sous-variété stratifiée de co-dimension supérieure ou égale à 1 (vraie génériquement dès que l'on a plus de 3 contrôles), pour en déduire un contrôleur hybride. Ce dernier est quasiment optimal et robuste à des petits bruits de mesure et aussi à des petites erreurs de modélisation. Loin de cette sous-variété, le contrôleur hybride coïncide en fait avec le feedback optimal. Près de cette sous-variété, le contrôleur hybride assure sa traversée de façon robuste. Christophe Prieur donne dans un article paru en 2005 dans Math. Control Signals Systems, les formules explicites de ce feedback hybride pour l'intégrateur non-holonomie de Brockett. Le cas général est traité dans un article postérieur paru en 2006 dans Siam J. Control Opt.

Dans le chapitre 3, Christophe Prieur aborde les non-linéarités sectorielles de type saturation ou backlash. Les non-linéarités de type saturations en cascade se rencontrent typiquement dans les systèmes mécaniques commandés avec des contraintes en position, vitesse, accélération et parfois jerk. Leur influence sur les performances en boucle fermée est alors très importante. Dans un article paru en 2006 dans IEEE Trans. Automatic Control, Christophe Prieur donne une estimation précise du bassin d'attraction sous forme d'inégalités matricielles (LMI). Dans une communication au CDC de 2006, Christophe Prieur propose une analyse détaillée de la stabilité pour les systèmes avec des jeux mécaniques (backlash). Des travaux sont en cours mélangeant backlash et saturations emboîtées. Ces travaux devraient déboucher sur des applications concrètes compte tenu de l'importance pratique de ce type de non-linéarités.

La seconde partie du mémoire aborde le contrôle des systèmes décrits par des dérivées partielles. Dans le chapitre 4, Christophe Prieur considère des structures flexibles à une dimension spatiale. Dans un article paru en 2006 dans *ESAIM : Control. Optim. Cal. Var.*, Christophe Prieur traite d'une poutre modélisée par une EDP de type Euler-Bernoulli avec un actionneur piézo-électrique. Il étudie sa commandabilité en fonction de la position de l'actionneur et montre que, pour une position générique, il y a commandabilité exacte. Dans un article paru en 2007 dans *Int. J. of Control*, Christophe Prieur montre que lorsque l'actionneur est au bord, une commande Lyapunov assure la convergence forte vers zéro sauf pour des valeurs exceptionnelles de la longueur de l'actionneur.

Dans le chapitre 5, Christophe Prieur passe au 2D et considère le contrôle d'un miroir bimorphe en optique adaptative. Dans un article paru en 2007 dans *Int. J. of Tomography Statistics* montre la commandabilité des modèles 1D et surtout 2D. Dans les *Proc. ESAIM* parus en 2008, Christophe Prieur aborde la stabilisation par feedback dans le cas 1D. Enfin la stabilisation robuste (cas 1D avec modèle stochastique simplifié de la turbulence atmosphérique) est traitée dans un article paru en 2008 dans *Applied Optics*.

Dans le chapitre 6, Christophe Prieur s'intéresse aux systèmes hyperboliques quasi-linéaires et à la régulation de l'écoulement de l'eau dans un canal (équations de Saint-Venant). Son résultat théorique principal est paru en 2008 dans *Math. Control Signals Systems*. Il s'agit de la stabilité exponentielle d'un système de deux lois de conservation avec des termes non-homogènes. C'est un très joli résultat qui permet de montrer sans effort que des feedbacks frontières simples à calculer en pratique donnent une dynamique stable et robuste en boucle fermée. Dans un article paru en 2008 dans *IEEE Trans. Control Syst. Technology*, Christophe Prieur applique ce résultat à un canal avec fuites et valide expérimentalement le feedback frontière ainsi obtenu sur le micro-canal de Valence.

Le mémoire se termine par un chapitre sur les travaux en cours et leur prolongement dans un futur proche. Ce mémoire montre clairement l'excellence des recherches conduites par Christophe Prieur en théorie des systèmes, son réel intérêt pour les applications, la parfaite cohérence de sa démarche en terme d'objectif et de stratégie scientifique. Aussi, je donne un avis très favorable à la soutenance de cette excellente habilitation.

Paris, le 10 octobre 2009.



Pierre Rouchon
Professeur
Mines ParisTech