Université de Paris-Sud et CNRS
MATHÉMATIQUE
Unité Mixte de Recherche 8628
Bâtiment 425
91405 Orsay cedex-France
Tél. 33 (0)1 69 15 71 77 Fax 33 (0)1 69 15 67 18
E-mail: Jean-Michel.Coron@math.u-psud.fr

Orsay, le 12 février 2002

Rapport sur Pierre ROUCHON

Pierre Rouchon est agé de 41 ans. Il est ingénieur de l'École polytechnique et du Corps des Mines. Il a un doctorat en génie des procédés et une habilitation à diriger des recherches (spécialité mathématiques). Il a obtenu en 2001 la qualification en mathématiques et en mathématiques appliquées.

Il est actuellement ingénieur en chef des mines, en détachement à l'École des Mines de Paris. Il est, depuis 1997, directeur du Centre d'automatique et systèmes, un centre de recherche de l'École des Mines, un des meilleurs centre mondiaux sur la commande des systèmes non linéaires. Il est aussi depuis 1993 Professeur chargé de cours à l'École polytechnique (exercice partiel).

P. Rouchon s'est attaqué avec succès à des problèmes très variés portant sur des équations aux dérivées partielles et la commande de systèmes.

1. **Schémas de Godunov.** P. Rouchon a donné un schéma de Godunov pour des équations de la chromatographie (hyperboliques non linéaires). Un des avantages de ce schéma par rapport à ceux qui étaient connus est qu'il ne nécessite pas de localiser les discontinuités de concentration. Les résultats qu'il donne sont en très bon accord avec les résultats expérimentaux.
2. **Commande de colonnes à distiller.** Sur ce sujet, en utilisant des techniques d'échelles de temps, P. Rouchon a d'abord donné un modèle agrégé de ces colonnes. Il a ensuite construit une commande robuste en utilisant des techniques de perturbations. Cette commande, particulièrement performante, est utilisée sur de nombreuses colonnes.
3. **Réduction de modèles.** L'élimination des variables rapides stables est un outil très pratique pour réduire la taille d'un modèle. Pour cette élimination, on essayait, avant les travaux de P. Rouchon, de mettre le système sous la forme de Tikhonov, ce qui est souvent difficile du point de vue des calculs. P. Rouchon a proposé une autre méthode, reposant sur la rechnique de variété centre. Il a appliqué sa méthode pour obtenir un modèle réduit d'un schéma cinétique de combustion et d'équations aux dérivées partielles de réaction-diffusion dans le cas où la diffusion est lente.
4. **Stabilité des fluides parfaits incompressibles.** Dans ce domaine P. Rouchon a obtenu deux beaux résultats (mentionnés dans le livre d'Arnold et Khesin).
   (a) Il a montré que le critère de stabilité d'Arnold donnant une condition suffisante pour la stabilité des solutions stationnaires des équations d'Euler des fluides parfaits incompressibles n'est jamais satisfait en dimension 3.
   (b) Depuis les travaux d'Arnold, on sait que les équations d'Euler des fluides parfaits incompressibles sont celles des géodésiques sur un groupe de Lie avec une métrique invariante à gauche. P. Rouchon a étudié la courbure sectionnelle de cette métrique. Il a montré qu'elle n'est positive que pour l'écoulement correspondant à une rotation constante autour d'un axe fixe.
5. **Systèmes plats.** Grosso modo, un système différentiel sous déterminé est plat si ses solutions s'expriment à l'aide d'une fonction « libre » et de ses dérivées. C'est une notion que P. Rouchon a introduite (avec M. Fliess, J. Lévine et Ph. Martin) pour les systèmes de commande (qui peuvent être vus comme des systèmes sous-déterminés), et qui est à rapprocher de travaux de Hilbert pour les équations de Monge et de la notion d'équivalence

absolue due à E. Cartan. Être plat pour un système de commande est très pratique : cela permet de résoudre les problèmes de planification de trajectoires et de suivi des trajectoires. Cette notion s'est avérée exceptionnellement utile pour la commande de systèmes car, si les systèmes génériques ne sont pas plats (résultat dû à P. Rouchon), beaucoup de systèmes physiques sont effectivement plats comme l'a montré P. Rouchon sur des exemples nombreux. Sur les systèmes plats les principaux résultats de P. Rouchon sont les suivants.

(a) La définition de la platitude dans le cadre de l'algèbre différentielle et dans celui des diffiétés (notion due à Vinogradov).

(b) La seule condition nécessaire de platitude connue. Il permet de montrer que les systèmes plats ne sont pas génériques.

(c) Une condition nécessaire et suffisante de platitude pour les systèmes sans dérive avec deux commandes.

(d) La platitude des systèmes sans dérive commandables avec troiscommandes et un état de dimension cinq.

(e) De nombreuses applications de la platitude à des systèmes physiques.

6. **Systèmes plats de dimension infinie.** Très récemment, P. Rouchon a su dégager la bonne notion de la platitude pour les systèmes distribués. Il l'a appliquée à différentes équations aux dérivées partielles linéaires à une variables d'espace avec contrôle au bord. Pour des équations de type chaleur ou Euler-Bernouilli, les paramétrisations explicites obtenues font appel à des ultra-distributions et aux fonctions Gevrey. Pour les équations des ondes comme celles des chaînes pesantes, des poutres flexibles en torsion, ou de Saint Venant linéarisé, les opérateurs utilisés vont du simple décalage ponctuel en temps aux décalages répartis continûment sur un compact. Enfin des exemples physiques où les temps de propagations dépendent du contrôle démontrent l'intérêt de cette approche pour contrôler certains systèmes hyperboliques non linéaires. A chaque fois P. Rouchon peut, grâce à la platitude, proposer des solutions explicites et simples au problème de la planification de trajectoires. C'est très novateur par rapport aux méthodes connues.

P. Rouchon a par ailleurs a développé des applications industrielles, remarquables et nombreuses. Par exemple il a trouvé, en utilisant les méthodes nouvelles qu'il a introduites dans sa recherche, des lois de commades très performantes pour piloter

- des colonnes à distiller (sa commande est installée dans plus de 20 installations chez Total-Fina-Elf),
- des moteurs électriques asynchrones (sa commande est utilisée sur plus de 4000 moteurs vendus par an par Schneider-Electric),
- des réacteurs chimiques variés (trois installations sur site actuellement).

P. Rouchon n'a pas non plus négligé les activités de vulgarisation. Il a participé à l'élaboration d'un robot jongleur et d'une maquette montrant comment des feedbacks permettent de stabiliser un double pendule inversé, maquette fonctionnant actuellement au musée des sciences et de l'industrie de la Villette (section mathématiques). Il a aussi donné un cours sur les systèmes différentiels plats aux journées X-UPS en 1999. Ce cours a été très apprécié.

En conclusion, je suis très impressionné tant par la qualité et la diversité des résultats obtenus par P. Rouchon sur le plan théorique que par les applications industrielles qu'il a su développer. Dans de nombreux domaines il a fait preuve d'une originalité remarquable et a apporté des méthodes nouvelles et très efficaces. Il a su montrer la pertinence de ses méthodes sur des applications industrielles, qui ont donné lieu à des logiciels de commande actuellement utilisés pour des systèmes très variés. Cette double compétence (théorie et application) est exceptionnelle. Je recommande très chaleureusement P. Rouchon pour un poste de professeur dans notre département.

Jean-Michel Coron

Professeur