

# Projet de thèse

## 1. Sujet de recherche et son contexte scientifique

Sujet : conception et commande d'une interface haptique bas coût avec un cahier des charges exigeant

Contexte :

Les interfaces haptiques constituent une technologie en plein développement scientifique et technique. Elles apportent une sensation kinesthésique (liée à la perception de forces sur les membres du corps qui contraignent les mouvements) et/ou tactile (liée à la perception de pression, de rugosité ou de température) dans une interface homme machine, complétant ainsi la perception visuelle et auditive. Nous nous intéressons ici aux dispositifs haptiques pour générer une interaction physique en termes de mouvement et de force entre une personne et un système numérique tel qu'un environnement virtuel ou une machine de télé-opération. De nouvelles façons de concevoir un produit, de former un professionnel ou d'effectuer une tâche sont désormais possibles grâce, entre autre, à ces dispositifs haptiques : ils permettent à une personne de manipuler virtuellement un objet tout en ressentant les efforts exercés sur cet objet (liées à un contact, à l'inertie, à la rugosité d'une surface, à la déformation d'un support, etc.). Ils sont déjà utilisés avec succès en conception aéronautique et automobile, en télé-opération chirurgicale et en apprentissage d'un geste (geste chirurgical, écriture compte tenu d'un handicap) par exemple. On trouve sur le marché des dispositifs haptiques munis de petit volume de travail et avec de faibles performances. Ceux qui répondent à des spécifications sévères sont onéreux et bien souvent spécialisés, ce qui limite leur diffusion dans de nombreux secteurs d'activité. Les dispositifs sont généralement construits à partir de système mécanique articulé et d'actionneur [Gosselin&al.02].

Des récents développements scientifiques ont abouti à des solutions mixtes actives/passives (e.g. moteur et frein) [Kwon&al.06] permettant de dépasser certaines limites techniques des dispositifs haptiques. En outre, des travaux scientifiques en robotique parallèle sur le calcul d'architectures cinématiques parallèles à câbles [Phama&al.09] laissent envisager des retombées intéressantes dans le domaine haptique. Un des enjeux se situe dans le développement d'une interface homme système adaptée à un large spectre d'applications à un coût suffisamment bas.

Objectifs et verrous scientifiques :

L'objectif est d'être capable de développer une interface haptique bas coût avec cahier des charges exigeant pour une utilisation dans une large variété de cas de figure (degrés de liberté et espace de travail). Idéalement, une interface haptique doit être transparente [Gosselin&al.02] ; elle doit donner à l'utilisateur la sensation de travailler directement au contact de l'environnement virtuel sans ressentir la dynamique de l'interface (son poids, son inertie, les frottements internes, sa déformation, etc.). Le dispositif haptique doit fournir à l'utilisateur un espace de travail suffisamment grand et pouvoir transmettre des sensations de contact avec des objets ou des obstacles de raideur importante (impression de dureté de la surface de contact) et avec une bande passante suffisamment large. Le cahier des charges doit spécifier cette notion d'interface transparente et de transmission de sensations statiques (forces de contact, raideur d'un support, etc.) et dynamiques (secousses et vibrations, effet liée à une interaction avec l'environnement, etc.) désirées. En outre, il est nécessaire de garantir la sécurité de l'utilisateur (stabilité garantie lors de l'interaction personne / dispositif haptique) et la sûreté de l'opération (mur virtuel à ne pas traverser en limite d'effort des actionneurs).

Les verrous scientifiques sont inhérents aux limites physiques et technologiques. La notion d'interface transparente semble être en contradiction avec des spécifications exigeantes de transmission de sensations d'effort et, ce, dans un espace de travail suffisamment grand.





des gestes opératoires (montage, maintenance), diminuant ainsi les coûts de formation, et pour la rééducation fonctionnelle des membres supérieurs suite à un trouble musculo-squelettique, un traumatisme ou une opération (par exemple dans le cadre de réadaptation professionnelle) [Zhou&al.08]. Une autre application porte sur la formation et l'assistance à la conduite de véhicules spécialisés [Moradganjeh&al.09].

La diffusion et l'expérimentation de cette technologie dans des industries spécifiques comme celle du transport ferroviaire requiert une capacité à développer des interfaces adaptés à des besoins particuliers. Ce projet de thèse est orienté pour pouvoir répondre à une large gamme possible de cas de figure (type de produit ou de sous-ensemble, type de scénario) à un coût abordable. Les retombés scientifiques concernent le développement d'interface homme machines répondant à des cahiers des charges précis et la conception de nouvelle loi de commande de systèmes en interaction avec l'homme.

## 5. Collaborations prévues et la liste des publications portant directement sur le sujet

Le sujet s'inscrit dans une collaboration avec l'équipe CGAO (LAMAV, UVHC) dirigée par G. Albrecht (PU) menée dans le cadre du projet inter-laboratoires « CAO, Contraintes et Réalité Virtuelle ». Dans le cadre du projet européen Eurostars « New Interactive and Innovative Technologies for CAD », une collaboration est prévue avec les équipes du département mécanique (DM) et du département électronique, informatique et système (DEIS) de l'université de Bologne, Italie, ainsi qu'avec les partenaires industriels Think3 (France, spécialiste en conception assistée par ordinateur) et Exel SRL (micro-électronique).

### Références sur les interfaces haptiques :

- [Bordegoni&al.06] Monica Bordegoni, Giorgio Colombo, Luca Formentini, Haptic technologies for the conceptual and validation phases of product design, *Computers & Graphics* 30 (2006) 377. 390
- [Burnett&al.01] Gary E. Burnett, J. Mark Porter, Ubiquitous computing within cars: designing controls for non-visual use, *Int. J. Human-Computer Studies* (2001) 55, pp. 521-531
- [Gosselin & al. 02] Florian GOSSELIN, Alain RIWAN, Virtuouse 3D, nouvelle interface haptique à retour d'effort, *Techniques de l'ingénieur, Innovation 4* (2002) pp. In1.1-In1.5
- [Kruger&al.08] J. Kruger, D. Surdilovic, Robust control of force-coupled human. robot-interaction in assembly processes, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 57 (2008) 41. 44
- [Kruger&al.09] J. Kruger, T.K. Lien, A. Verl, Cooperation of human and machines in assembly lines, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 58 (2009) 628. 646
- [Kwon&al.06] Tae-Bum Kwon, Jae-Bok Song, Force display using a hybrid haptic device composed of motors and brakes, *Mechatronics* 16 (2006) 249. 257
- [Ladeveze &al.10] N. Ladeveze, Jean-Yves Fourquet, Bernard Puel, Interactive path planning for haptic assistance in assembly tasks, *Computers & Graphics* 34 (2010), 17-25
- [Lécuyer&al.03] A. Lécuyer, C. Andriot, A. Crosnier, Interfaces Haptiques et Pseudo-Haptiques, *Journées Nationales de Recherche en Robotique*, 10 octobre 2003.
- [Moradganjeh&al.09] Amid Moradganjeh, Implication of haptic interface for complex interaction in specialized vehicles, In: Wouters, I.H.C.; Tieben, R;

Kimman, F.P.F.; Offermans, S.A.M. and Nagtzaam, H.A.H. (Eds.), *Flirting with the Future* Proceedings of SIDER 09, April 15-17 2009, Eindhoven University of Technology, the Netherlands. pp. 69-73

- [Phama&al.09] Cong Bang Phama, Song Huat Yeob, Guilin Yangc, I-Ming Chen, Workspace analysis of fully restrained cable-driven manipulators, *Robotics and Autonomous Systems* 57 (2009) 901 . 912
- [Ryu&al.04a] Jee-Hwan Ryu, Dong-Soo Kwon, Blake Hannaford, Stable Teleoperation with Time Domain Passivity Control, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 20 (2), April 2004, 365 - 373
- [Ryu&al.04b] Jee-Hwan Ryu, Yoon SangKim, and Blake Hannaford, Sampled- and Continuous-Time Passivity and Stability of Virtual Environments, *IEEE Transactions on Robotics*, 20 (4), August 2004, pp. 772 - 776
- [Sankar.&al.08] Ganesh Sankaranarayanan, Blake Hannaford, Experimental Comparison of Internet Haptic Collaboration with Time-Delay Compensation Techniques, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Pasadena, CA, USA, May 19-23, 2008, pp. 206-211
- [Zhou&al.08] Huiyu Zhou, Huosheng Hu, Human motion tracking for rehabilitation- A survey, *Biomedical Signal Processing and Control* 3 (2008) 1. 18

Références internes :

- [Bernier&al.02] Bernier D., Dequidt A., Valdès E. (2002) Symbolic and Systematic Multibody Modeling for mechatronic design, Proc. of NATO ASI Workshop on Virtual Nonlinear Multibody Systems, Editors : Schiehlen W. & Valasek M., Prague, Czech Republic, June 23-July 3, pp. 21-26.
- [Demilly&al.02] X. Demilly, R&D Support Haption . Méthode de modélisation Bond Graph du bras haptique, Mémoire de projet de fin d'étude ingénieur ISIV - Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 2002.
- [Dequidt&al.00] Dequidt A., Castelain J.M., Valdès E. (2000) Mechanical pre-design of high performance motion servomechanism, *Journal of Mechanism and Machine Theory*, Vol. 35, No 8, pp 1047-1063.
- [Dequidt&al.09] DEQUIDT A., VERMEIREN L., FRATU A. (2009). Design of flexible drive systems for feedforward control: a mechatronic approach. 18th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region, Brasov, Romania, mai.
- [Fratu&al.09] A. Fratu, A. Dequidt, L. Vermeiren, Haptic devices for desktop virtual prototyping applications, The 3rd International Conference on Computational Mechanics and Virtual Engineering, COMEC 2009, 29 . 30 OCTOBER 2009, Brasov, Romania
- [Fridman&al.03] Fridman, E.; Gouaisbaut, F.; Dambrine, M. & Richard, J. (2003), 'Sliding mode control of systems with time-varying delays via descriptor approach', *Int. J. Systems Science* 34(8--9), 553-559.
- [Fridman&al.08] Fridman, E.; Dambrine, M. & Yeganefar, N. (2008), 'On input-to-state stability of systems with time-delay: A matrix inequalities approach', *Automatica* 44(9), 2364-2369.

- [Fridman&al.09] Fridman, E. & Dambrine, M. (2009), 'Control under quantization, saturation and delay: An LMI approach', *Automatica* 45(10), 2258-2264.
- [Gouaisbaut&al.02] Gouaisbaut, F.; Dambrine, M. & Richard, J. (2002), 'Robust Control of Systems with Variable Delay: A Sliding Mode Control Design Via LMIs', *Systems & Control Letters* 46(4), 219-230.
- [Guerra&al.01] GUERRA T-M., VERMEIREN L. (2001). Control laws for Takagi Sugeno fuzzy models. *Fuzzy Sets & Systems*, 120, pp. 95-108.
- [Guerra&al.04] GUERRA T-M., VERMEIREN L. (2004). LMI-based relaxed non quadratic stabilization conditions for non-linear systems in the Takagi-Sugeno's form. *Automatica*, 40 (5), pp. 823-829.
- [Guerra&al.06] GUERRA T-M., KRUSZEWSKI A., VERMEIREN L., RAGO-TIRMANT H. (2006). Conditions of output stabilization for nonlinear models in the Takagi-Sugeno's form. *Fuzzy Sets & Systems*, 157 (9), pp. 1248-1259.
- [Moulay&al.08] Moulay, E.; Dambrine, M.; Yeganefar, N. & Perruquetti, W. (2008), 'Finite-time stability and stabilization of time-delay systems', *Systems & Control Letters* 57(7), 561-566.
- [Rejdych&al.03] G. Rejdych, Modélisation d'une transmission à câble en vue de dimensionner un axe de robot maître commandé en retour d'effort, Mémoire de DEA en Génie Mécanique, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 2003.
- [Yeganefar&al.08] Yeganefar, N.; Pepe, P. & Dambrine, M. (2008), 'Input-to-State Stability of Time-Delay Systems: a Link with Exponential Stability', *IEEE Transactions on Automatic Control* 53(6), 1526-1531.