

Sujet de thèse – Communauté universitaire de Grenoble - école doctorale EDISCE

**Sensori-motricité de l'interaction avec les mondes numériques :
vers des technologies gestuelles à retour d'effort
adaptées aux nécessités de l'informatique musicale interactive**

*Equipe d'encadrement : Nicolas Castagné (ICA – Grenoble INP),
Claude Cadoz (ICA – Grenoble INP), Annie Luciani (ICA – Grenoble INP)*
Contacts : direction-ICA@imag.fr - +33 4 76 57 49 08

Le besoin de faire progresser l'interaction sensori-motrices de l'humain avec les mondes numériques pour la production de contenus numériques est plus que jamais évident. Or, lors d'interactions gestuelles par l'intermédiaire de dispositifs numériques où seule l'information est en jeu à l'exclusion de l'énergie et de la matière, par exemple au moyen de capteurs gestuels de toutes sortes, la physicalité de l'instrument et de l'interaction instrumentale est dissoute. Le recours à des **interfaces gestuelles haptiques à retour d'effort** est donc une voie indispensable pour réintroduire l'instrumentalité dans l'interaction avec les mondes numériques [Cad94].

La technologie des systèmes gestuels à retour d'effort est complexe. Il s'agit d'une chaîne bidirectionnelle mécanique <-> numérique. En l'absence d'adaptation réfléchie à chaque tâche, de hautes performances sont nécessaires pour placer l'utilisateur dans des conditions sensori-motrices et cognitives relevant véritablement de l'instrumentalité : nombre de DDL, bandes passantes de 2-10 KHz, force motrice min 200 N par DDL, précision de capture de l'ordre du micron, contraintes fortes en matière de latence, etc.

Ces conditions de performances ont comme conséquence un coût des dispositifs qui rend difficile leur mise à disposition en dehors des laboratoires de recherche.

C'est ce verrou que cette thèse se propose d'attaquer, en étudiant, dans le contexte applicatif de la création musicale, les conditions technologiques minimales permettant une interaction sans concession aux nécessités de performances de l'exercice instrumental.

La thèse se déroulera au sein du **laboratoire ICA** (Ingénierie pour la Création Artistique) de Grenoble INP, dont les travaux sont historiquement centrés sur les questions de l'instrumentalité en situation numérique. Le laboratoire est spécialiste des systèmes haptiques, de la modélisation physique et de la simulation temps réel instrumentale et multisensorielle, en particulier pour la création [Cad94, FLCC04, LCCFL14, LCL15].

Les travaux s'appuieront sur plusieurs résultats récents :

1. Les **stations à retour d'effort à 12 degrés de liberté haute performance**, uniques au monde, dotées de co-processeurs et d'entrées/sorties haptiques très basse latences [FLCC04, LCL15]. Ces stations, basées sur la technologie développée par le groupe ACROE-ICA, présentent les meilleures performances possibles aujourd'hui en matière de retour d'effort, sur le front de l'art. En tant que **banc d'expérimentation de l'interaction instrumentale**, elles seront le support d'expérimentations et de mesures de référence sur l'instrumentalité.

2. Les **environnements de modélisation et simulation physiques** pour le geste, le son et l'image du laboratoire ICA, enveloppant le formalisme de modélisation physique par modèles physique CORDIS-ANIMA. Dans ce formalisme, la relation instrumentale par le geste est native. L'amarrage des modélisateurs physiques avec les simulateurs temps réel à retour d'effort a été effectuée récemment [LCCFL14].

Nous proposons alors une stratégie qui s'articule sur deux axes, l'un de nature fondamentale, l'autre de nature applicative.

1. L'approfondissement de la notion d'instrumentalité et de ses nécessités technologiques

L'objet général de cet axe est la création de connaissances quant aux conditions, aux seuils et aux stratégies de désophtisation et de transposition adaptative des systèmes à retour d'effort, en fonction des tâches visées. En perspective, la thèse permettra d'adapter le niveau de qualité de l'équipement haptique aux tâches à accomplir, sans concession aux nécessités de performances de l'exercice instrumental.

Les tests s'appuieront sur les performances métrologiques de la station de simulation multisensorielle à retour d'effort apportée au projet.

Il s'agira d'abord d'étudier les possibilités de simplifications et/ou de réductions quantitatives sur tous les critères portant sur l'instrumentalité qui peuvent être envisagées : réduction de la résolution des capteurs, de l'ambitus des trajectoires, des plages d'évolution des forces, d'échelle, adaptation de l'électronique... **On s'attachera à déterminer les seuils à ne pas franchir sous peine de compromettre l'instrumentalité pour la tâche considérée.**

Par ailleurs, une des perspectives de la transposition de l'instrumentalité dans le cadre de l'interaction avec le numérique réside dans l'extension du concept par le dépassement de certaines contraintes imposées par la réalité physique, grâce en particulier à la simulation. La mise en œuvre d'anamorphoses appropriées sur différentes dimensions du geste permettra de concevoir des interfaces réalisant une transposition adaptative, permettant à des sujets habiles dans certains comportements gestuels, d'accéder à d'autres qui leur seraient moins naturels.

a) Rationalisation en regard de la typologie du geste instrumental [Cad94] : la distinction entre les composantes du geste qui inscrivent l'énergie de celui-ci dans les phénomènes produits (le son par ex.), de celles qui n'impliquent pas un échange d'énergie significatif permettra d'optimiser le dispositif instrumental.

b) La substitution sensorielle (par exemple la traduction en phénomènes tactiles d'informations de nature visuelle) est également à prendre en considération.

c) Les anamorphoses géométriques et cinématiques consistent à transformer, par le moyen de transformateurs cinématiques, la nature des trajectoires entre « l'espace du geste » et « l'espace de la tâche ». Des anamorphoses assez radicales peuvent parfois être pratiquées sans dégradation des performances si le retour d'effort est soigné.

d) Anamorphoses temporelles : le sujet humain peut se représenter *in abstracto* des séquences d'événements réels ayant une temporalité totalement autre que celle de la réalité. La plasticité du temps subjectif (penser une durée longue dans une fraction de seconde, se représenter une action physique dans un temps différent, etc.) sera mise à profit pour dissocier la temporalité du geste et celle de ses effets sans altération de l'instrumentalité.

Le cadre méthodologique consistera à préciser les catégories d'expériences à mener en les situant dans les critères ci-dessus et en s'appuyant par ailleurs sur une ontologie des instruments, des individus et des moyens d'anamorphose. L'approche par critères tels qu'ils sont définis ci-dessus permet par ailleurs une relative indépendance par rapport à tout critère de type esthétique ou culturel.

2) Mise en œuvre d'expérimentations situées en situation de création musicale

L'application musicale est précieuse pour cette thèse, car très exigeante en matière d'instrumentalité. Elle fournit un cadre pertinent pour dégager des méthodes générales d'adaptation des dispositifs à toutes sortes de contextes. En outre, la demande d'une « instrumentalité numérique véritable » de la part des professionnels de la musique (compositeurs, instrumentistes, formateurs) et des amateurs est pressante aujourd'hui pour définir de nouveaux moyens d'interprétation.

Le travail sur l'axe 1 s'appuiera donc sur l'étude de situations d'application musicale. Réciproquement, l'axe 1 apportera les bases technologiques et les guides prescriptifs pour les expérimentations.

Les expérimentations artistiques permettront une introduction « en vraie grandeur », par ailleurs inédite, d'une instrumentalité intégrale en contexte numérique musical. Des opérations artistiques finalisées à travers des présentations publiques constitueront une forme d'évaluation située utile pour les prolongements ultérieurs et les retombées plus larges du projet.

Des musiciens, en formation ou confirmés, seront sollicités pour intégrer les préoccupations et résultats du projet dans leur démarche artistique. Pour ce faire, le projet bénéficiera du réseau EASTN, European Art-Science-Technology Network, coordonné par l'ACROE et dans lequel le laboratoire ICA est impliqué. Des artistes amateurs et professionnels participeront aux ateliers et expérimentations sur la question instrumentale et la question de la tangibilité et seront invités pour créer des œuvres à partir des outils proposés.

Références

- [Cad94] C. Cadoz. Le geste, canal de communication homme/machine. La communication instrumentale» - Technique et science de l'information. Volume 13 - n° 1/1994, pages 31-61.
- [FLCC04] J-L. Florens, A. Luciani, C. Cadoz, N Castagne. ERGOS: a Multi-Degrees of Freedom and Versatile Force-Feedback Panoply. Proceedings of Eurohaptics, pp356-360, Germany, 2004.
- [LCCFL14] Leonard J., Cadoz C., Castagné N., Florens J.L., Luciani A. : "A Virtual Reality Platform for Musical Creation: GENESIS-RT". Sound, Music, and Motion. Lecture Notes in Computer Science, Volume 8905, pp 346-371, Springer, dec 2014.
- [LCL15] Luciani A, Castagné N, Leonard J: "Haptics Processing Unit Software Architecture for Transportable High Dynamics Force-Feedback Coupling". Proceedings of the International Conference EUROHAPTICS, France, June 2014, 8 pages.
- [LFCC09] A. Luciani, J-L.Florens, JL, D. Courousse, J. Castet. Ergotic Sounds: A New Way to Improve Playability, Believability and Presence of Virtual Musical Instruments. Journal of New Music Research, Vol. 38, N° 3, Sept. 2009, pp. 309-323(15).

Pour prendre contact avec l'équipe d'encadrement ou vous renseigner :
(conseillé avant toute candidature) :
direction-ICA@imag.fr - +33 4 76 57 49 08

Pour proposer votre candidature en ligne sur le site de l'Ecole Doctorale EDISCE :
http://www.adum.fr/as/ed/edisce/page.pl?page=candidater_alloc