



**HAL**  
open science

**Exploration des qualités tactiles et sonores de  
l'instrumentalité par la simulation de cordes frottées**  
Olivier Tache, Stephen Sinclair, Jean-Loup Florens, Marcelo M. Wanderley

► **To cite this version:**

Olivier Tache, Stephen Sinclair, Jean-Loup Florens, Marcelo M. Wanderley. Exploration des qualités tactiles et sonores de l'instrumentalité par la simulation de cordes frottées. 2012. hal-00823557

**HAL Id: hal-00823557**

**<https://hal.science/hal-00823557>**

Preprint submitted on 17 May 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## EXPLORATION DES QUALITES TACTILES ET SONORES DE L'INSTRUMENTALITE PAR LA SIMULATION DE CORDES FROTTEES

Olivier Tache  
ACROE  
olivier.tache@imag.fr

Steve Sinclair  
IDMIL, McGill Univ.  
sinclair@music.mcgill.ca

Jean-Loup Florens  
ACROE  
florens@imag.fr

Marcelo M. Wanderley  
IDMIL, McGill Univ.  
marcelo.wanderley@mcgill.ca

### Résumé

Grâce aux technologies des interfaces à retour de force et de la modélisation physique, il semble aujourd'hui possible d'atteindre le même type de relation avec les objets virtuels qu'avec les instruments acoustiques. Mais la conception de systèmes artificiels si élaborés pose des questions profondes sur les conditions nécessaires à la mise en place d'une relation instrumentale. Cet article présente une étude qualitative d'une telle relation dans le cas du frottement sur une corde virtuelle, simulée à l'aide de modèles de type masses-interactions et guide d'onde. Des utilisateurs ont été invités à explorer les possibilités de différentes simulations tout en exprimant leurs impressions par rapport à cette situation, ce qui nous a permis d'identifier certaines des qualités clés des dispositifs testés qui conditionnent la construction d'une relation riche et intime avec l'utilisateur.

Mots clé: intération instrumentale, présence, interfaces à retour de force, modélisation physique, informatique musicale, frottement d'archet, corde frottée, haptique

### 1. Introduction

Certaines recherches menées actuellement dans le domaine des systèmes électroniques pour la création musicale promettent d'offrir un jour une interaction entre l'homme et la machine qui soit de la même richesse et de la même intimité que celle qui existe depuis toujours entre l'homme et les objets de son environnement, tout en profitant des possibilités immenses du numérique. Il peut s'agir pour cela de recréer avec les objets technologiques une interaction instrumentale, c'est-à-dire une situation où d'une part les variables de contrôle (signaux des capteurs et actionneurs à l'interface avec l'utilisateur) et les variables contrôlées (paramètres de l'algorithme de synthèse sonore) sont de natures similaires et où, d'autre part, il existe une relation *ergotique* geste – son – geste, c'est-à-dire un continuum énergétique entre les gestes produits et leurs effets [2]. Par exemple, une force captée par un transducteur de force va contrôler une entrée « force » d'un algorithme de synthèse ; l'algorithme de simulation ensuite renvoie une information de force à l'utilisateur à travers les actionneurs présents dans le système.

Une telle situation est aujourd'hui envisageable grâce à la combinaison de la technologie des interfaces à retour de force et des techniques de modélisation physique. Mais, au-delà de la définition générale que nous venons d'en donner, quelles caractéristiques faut-il donner à un dispositif proposant une interaction instrumentale simulée ? Quelle soit réelle ou simulée, quelles sont les propriétés ? Questions délicates, car les outils permettant d'étudier le plus en profondeur la notion d'instrumentalité sont récents et coïncident précisément avec les outils tentant de la recréer.

Dans le cadre du projet Créativité Instrumentale, nous nous sommes proposé de questionner cette notion d'instrumentalité par le biais d'une situation instrumentale emblématique, le jeu de l'archet sur une corde, déjà abordé par plusieurs auteurs (cf. par exemple [5], [6], [9]). Il s'agissait dans l'étude de proposer à des personnes d'utiliser une simulation audio-haptique d'une corde frottée afin, d'une part d'observer le déroulement de leur interaction avec celui-ci à travers différents moyens (enregistrement des signaux de position et de force dans l'interface à retour d'effort et des signaux sonores produits par le système, enregistrement audio-visuel de la personne en train de jouer) et d'autre part de recueillir ses impressions par le biais d'un entretien avec un animateur réalisé au cours de manipulation elle-même.

This work has been presented during the #Art Science Technology event, nov 28-dec 03 2011, Grenoble, France.

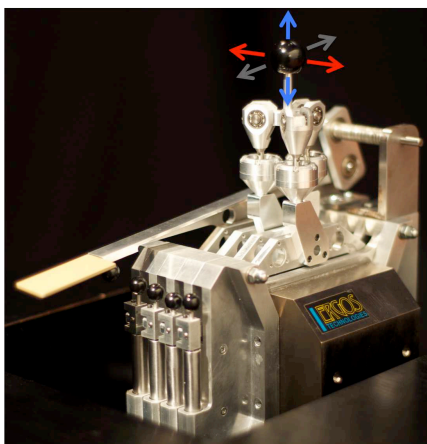
All copyrights remain with the author.

To quote this document, use: <<authors>>: <<title>> - In *Ambiant and Instrumental Creativity / Créativité Instrumentale et Créativité Ambiante*. ACROE/Enactive Systems Books publisher, 2011 - ISBN 978-2-9530856-1-7 - available online at <http://aicreativity.eu>

## 2. Méthode

Les observations ont été réalisées selon une méthode inspirée des travaux de Pascal Amphoux [1], déjà utilisée dans le cadre du projet Créativité Instrumentale [3] et permettant d'explorer l'espace des caractéristiques propres à une situation donnée du point de vue de ses acteurs, en l'occurrence une situation de jeu proposée à différents utilisateurs. Cette démarche suppose de recueillir leurs impressions lors de l'utilisation du dispositif, au moment même où se forment, à partir des sensations perceptives, les représentations mentales associées à cette interaction avec la corde simulée. Afin de favoriser le plus possible l'expression des utilisateurs – ce qui est d'autant plus nécessaire que l'expérience offerte était nouvelle pour la plupart d'entre eux – il a donc été décidé qu'un animateur serait présent au cours des sessions, ayant à la fois le rôle d'incitateur dans la découverte des possibilités de jeu et d'interlocuteur. Le dispositif d'observation était complété par deux autres personnes situées physiquement en retrait du poste de jeu et chargées respectivement de prendre des notes – déchargeant ainsi l'animateur de cette tâche qui le priverait du niveau d'attention requis par son rôle – et de filmer la scène. Enfin, un certain nombre de signaux propres à la simulation étaient enregistrés pour une exploitation ultérieure, qui ne sera pas abordée dans le présent article.

Le poste de jeu était constitué de l'interface à retour de force ERGON\_X, d'une enceinte placée à proximité immédiate de celui-ci et de l'ordinateur calculant la simulation (Figure 1 – droite). Aucune représentation visuelle de celle-ci n'était donnée. Les expériences ont été réalisées en deux séries (en novembre 2010 et en janvier-février 2011), avec des modèles identiques et des configurations différentes de l'interface elle-même. Lors de la première série, l'interface était munie d'un habillage de type joystick permettant de manipuler l'archet virtuel à partir d'un espace réel de manipulation de l'ordre de 10 cm de diamètres, soit des dimensions très restreintes par rapport à celui du jeu réel sur la plupart des instruments à cordes frottées (Figure 1 – gauche). Dans la deuxième série, l'interface était équipée d'un habillage a priori plus adapté présentant une baguette métallique articulée, donnant à l'utilisateur un espace de jeu un peu plus important et surtout une plus grande liberté dans la façon de manipuler (Figure 1 – droite). Dans les deux cas, les axes de mouvements possibles étaient les mêmes.



**Figure 1.** A gauche, interface à retour de force ERGON\_X utilisée pour les expériences, équipée de l'habillage « joystick » de l'expérience n°1 ; le mouvement selon l'axe transversal (rouge) permet d'exciter la corde, le mouvement selon l'axe vertical (bleu) permet d'approcher ou d'éloigner l'archet de la corde et le mouvement selon l'axe longitudinal (gris) est libre, sans effet sur la simulation. A droite, vue d'ensemble du poste de jeu de l'expérience n°2 ; l'utilisateur tient dans sa main l'habillage « archet ».

Quatre simulations physiques différentes étaient proposées successivement : deux simulations réalisées avec le formalisme CORDIS-ANIMA [4] et deux simulations composées d'un modèle de corde réalisé à l'aide de la technique des guides d'onde et d'un modèle de frottement d'archet nommé DISTPLUCK [8]. Pour chacun de ces deux types de simulations, la différence entre les deux versions se situe au niveau de l'amortissement de la corde lorsqu'on la laisse vibrer après l'avoir excitée : une simulation présentait un

temps d'amortissement d'environ 0,5 s, et l'autre d'environ 2,5 s.<sup>1</sup> De façon approximative, le temps d'amortissement court correspond à celui d'une corde jouée alors qu'un doigt la plaque contre le manche, tandis que le temps d'amortissement long se rapproche de celui d'une corde jouée à vide. Le Tableau 1 indique le nom de chacune des simulations, en fonction du type de modèle et du temps d'amortissement.

<i>Temps d'amortissement</i>	<b>Court</b>	<b>Long</b>
<i>Type de modèle</i>		
<b>CORDIS-ANIMA (CA)</b>	CAC	CAL
<b>Guide d'onde + DISTPLUCK (DP)</b>	DPC	DPL

**Tableau 1.** Nom des simulations

Dans les quatre simulations, une seule corde était modélisée, sa hauteur étant fixée au Si 3 (246,94 Hz). Le choix de cette note permettait d'obtenir des timbres d'une richesse comparable pour tous les modèles. Par ailleurs, le Si 3 se situe dans l'intervalle des notes pouvant être produites aussi bien par un violon que par un violoncelle, ce qui offrait une expérience plus ouverte que dans le cas où la note aurait clairement été perçue comme pouvant provenir exclusivement de l'un ou l'autre de ces instruments.

A travers ces sessions de jeu, il ne s'agissait pas simplement de comparer différentes techniques de modélisation et de simulation pour évaluation en vue de développements ultérieurs. Dans le cadre de cette étude, la confrontation de simulations différentes du point de vue du son ou des sensations haptiques présente l'intérêt d'offrir des contrepoints, des contrastes qui libèrent la parole des utilisateurs. Il est en effet difficile de décrire sans un entraînement spécifique des sons et surtout, d'après nos observations, des sensations tactiles. La comparaison de situations fournit alors une base de repères différenciés, favorisant une expression beaucoup plus riche que celle qu'on obtiendrait autour d'une simulation unique. On évite ainsi d'obtenir uniquement des descriptions quelque peu triviales (par exemple : « j'ai l'impression de frotter sur une corde »), pour aller vers des descriptions introduisant véritablement les concepts centraux de l'expérience (« j'ai l'impression que la corde me résiste plus que dans la configuration précédente », qui fait apparaître la notion de résistance au mouvement, invisible dans la première description).

Les sessions de jeu avaient une durée totale moyenne d'environ une heure par utilisateur. Les simulations se succédaient dans un ordre aléatoire, et il n'était pas possible de revenir à celles expérimentées précédemment. Le passage d'une simulation à la suivante était décidé d'un commun accord entre l'animateur et l'utilisateur, lorsqu'il apparaissait que ce dernier n'avait plus rien de nouveau à essayer ou à dire sur la simulation en cours.

La première série d'expériences (novembre 2010) a rassemblé 7 utilisateurs travaillant tous dans le domaine des technologies pour la création artistique et dont 6 avaient une activité professionnelle dans la recherche sur les technologies pour la musique. En revanche, aucun n'avait ou n'avait eu de pratique d'un instrument à corde. Lors de cette première série, les sessions de jeu consistaient uniquement en une exploration libre du dispositif et de ses possibilités suivant les différentes simulations. L'animateur avait alors pour rôle de veiller à ce que cette exploration soit aussi poussée que possible dans les limites du temps imparti. La deuxième série (janvier-février 2011) a rassemblé 16 autres utilisateurs d'un public plus varié, comportant un violoncelliste en activité, un ancien joueur de violon, mais aussi plusieurs personnes n'ayant jamais eu de pratique musicale. La session de jeu était divisée en deux parties : une première phase d'exploration libre sur l'une des quatre simulations mentionnées ci-dessus, permettant à l'utilisateur de faire connaissance avec le dispositif, suivi d'une phase contrainte où il était demandé à l'utilisateur de réaliser une tâche précise : il s'agissait pour eux de produire un son aussi continu que possible malgré les changements de direction de l'archet. Nous n'évoquerons pas ici cette partie des sessions de jeu et nous concentrerons sur les observations réalisées au cours des explorations libres au cours des deux séries et sur les conclusions qui peuvent en être tirées.

<sup>1</sup> Le temps d'amortissement utilisé ici est la durée du son perçu lorsque la corde est laissée libre de résonner, mesurée au niveau sonore normal des expérimentations

### 3. Perception du son

L'observation la plus immédiate est que la quasi-totalité des utilisateurs a été capable de discriminer très rapidement les deux types de modèles (CA et DP) en fonction de leur timbre – qui sont objectivement très différents, notamment avec une prédominance des harmoniques d'ordre élevé dans les deux modèles DP. Une majorité d'utilisateurs – et, plus particulièrement, l'ensemble des utilisateurs reçus lors de la série de novembre 2010 – ont évoqué la présence d'harmoniques différentes selon les simulations et les modes de jeu. Les appréciations ont été très diverses, certains préférant le son plus « grave » des simulations CA et d'autres le son plus « aigu » des simulations DP, caractérisées par une obtention très aisée des harmoniques d'ordre 2 et 3 et, voire par une absence de la fondamentale dans certaines conditions de vitesse et de pression de l'archet. Nous discuterons l'importance de ce jeu avec les harmoniques dans la section consacrée aux relations geste-son et à l'instrumentalité.

Ignorant que la nature même des techniques de modélisation pouvait être différente d'une simulation à l'autre, plusieurs utilisateurs ont perçu un timbre comme une transformation d'un autre entendu précédemment :

*« Le timbre est différent. On dirait presque qu'il est traité par un filtre passe-bas. » (après le passage d'une simulation DP à une simulation CA).*

*« J'ai l'impression que le son de la corde là est un peu filtré. » (après le passage d'une simulation DP à une simulation CA).*

Cette différence était tellement marquée pour deux utilisateurs qu'ils se demandaient, en passant d'une simulation CA à une simulation DP, s'il s'agissait toujours d'un modèle de corde frottée :

*« J'ai l'impression...d'un instrument à vent, on souffle dans une flûte en fait »*

*« C'est une flûte. C'est une flûte ou... Pas une clarinette... Enfin, c'est une flûte hyper réactive... Non mais c'est une flute de pan ! ... Non mais c'est vrai, l'attaque, elle est flutée ! ... »*

Les discussions avec ces utilisateurs montrent que la perception d'un son de flûte est ici induite par l'attaque particulièrement riche en harmonique et en composantes bruitées des sons produits par les simulations DP. Passé l'étonnement initial, cette situation semble pouvoir générer un certain intérêt, puisque le même utilisateur que précédemment déclare plus tard :

*« C'était cool de jouer de la flûte avec un archet ! »*

A l'exception de ces deux cas, aucun utilisateur n'a émis l'idée que les sons puissent ne pas être produits par une corde frottée – à l'exception de certains sons obtenus en appliquant de très fortes pressions sur la corde, dans le cas des simulations DP. Plusieurs utilisateurs se sont déclarés satisfaits des sons obtenus par rapport à la situation annoncée, par exemple :

*« L'instrument a vraiment un timbre d'attaque très... très proche du violon, qui est très caractéristique »*

*« Pour moi, c'est très similaire à l'instrument réel »*

Ceci n'est pas surprenant, dans la mesure où les modèles de cordes CORDIS-ANIMA et à guide d'onde sont développées depuis les années 80 et ont fait leurs preuves en terme de richesse et de pertinence des timbres produits.

Enfin, il est remarquable que le temps d'amortissement long ait très largement été préféré au temps d'amortissement court, phénomène évident étant donné les commentaires faits par les utilisateurs, mais aussi en lorsqu'un regarde les durées moyennes de jeu : chaque simulation à temps d'amortissement long a été utilisée en moyenne plus longtemps que sa variante à temps d'amortissement court. Deux raisons principales ont été évoquées. La première part du raisonnement « qui peut le plus peut le moins » : étant donné qu'il est possible d'amortir la corde à volonté, en posant simplement l'archet sur la corde, le temps d'amortissement long offre donc plus de possibilités. Par ailleurs, un utilisateur a évoqué le fait qu'une résonance longue de la

corde prolonge la présence de l'instrument alors même que l'on n'est plus en contact avec lui et que, rappelons-le, on ne dispose d'aucune représentation visuelle de celui-ci :

*« Avant [avec un temps d'amortissement court] j'avais l'impression que c'était juste, juste concentré autour de mon archet et puis ensuite l'instrument il disparaissait dès que je faisais plus rien ; c'est bien de sentir que tu interagis avec une entité qui existe sans toi aussi. »*

Enfin, pour expliquer cette préférence, on peut aussi avancer l'hypothèse que l'amortissement moindre de la corde contribue à gommer les « erreurs » de manipulation, en lissant le son.

Il faut toutefois noter que cette préférence pour l'amortissement moindre n'est pas universelle et qu'un utilisateur a probablement bien résumé la façon de traiter cette question en déclarant, à propos de cette variable :

*« Je pense que c'est simplement un paramètre continu que tu dois changer selon tes préférences »*

#### **4. Perception tactile et haptique**

L'ensemble des simulations proposées aux utilisateurs présentait, du point de vue haptique, trois comportements principalement relevés par les utilisateurs : une résistance au déplacement de l'archet, due au frottement contre la corde, des vibrations du joystick retranscrivant celles de la corde et un rebond de l'archet contre la corde sur les mouvements verticaux permettant contrôlant le contact entre les deux objets.

La plupart des utilisateurs ayant évoqué ce dernier comportement du dispositif l'ont fait dans des termes laissant à penser qu'il joue un rôle dans le sentiment de présence de la corde :

*« On peut le prendre [l'archet] et le faire rebondir contre la corde. Vraiment, on a la sensation de rebondir contre quelque chose de tendu »*

*« C'est cool de pouvoir, de voir que quand je fais ça [faire rebondir l'archet virtuel contre la corde], j'entends quand même le « poum » quand l'archet quitte la corde on entend quand même la petite impulsion, ça c'est cool ça ! »*

*« Ce qui est intéressant, c'est le rebond aussi enfin, cette sensation de rebond. »*

Les vibrations de l'interface et la résistance aux mouvements ont suscitées des réactions relativement contrastées. Certains utilisateurs ont ainsi déclaré, surtout lors de la découverte de la première simulation, qu'ils ne ressentaient pas de retour de force, alors que celui-ci était bien actif. Peu familiers des interfaces à retour de force, certains utilisateurs ont probablement ressenti la résistance de la corde simplement comme la résistance normale de l'interface à tous mouvements. Notons également que ces utilisateurs n'avaient pas encore découvert qu'il était possible de soulever le joystick, ce qui a pour effet de décoller l'archet virtuel de la corde et donc de libérer complètement le mouvement de toute résistance au mouvement latéral. En incitant les utilisateurs à faire attention à leur ressenti, ou simplement en leur laissant le temps de mieux prendre en main le dispositif, finissaient généralement par déceler des vibrations, par exemple :

*« En fait, j'ai l'impression qu'il n'y pas de retour de force du tout ».*

Puis, quelques minutes plus tard :

*« Je sens un petit... C'est plus subtil que ce à quoi je me serais attendu. »*

Ou encore la séquence suivante :

*Utilisateur : Mais là je ne suis pas sûr qu'il y ait un retour de force.*

*Animateur : OK, concentre toi sur ta main et essaye de décider.*

*Utilisateur : Ouais. Je sens quelque chose comme de subtiles vibrations, mais c'est plus...*

*Ouais, je peux sentir dans ma main maintenant.*

La suite de l'échange suggère que les perceptions sonores peuvent induire un masquage des perceptions haptiques lorsque celles-ci sont de faible intensité :

*Animateur : Comment tu décrirais ça ?*

*Utilisateur : Je l'ai d'abord entendu puis je l'ai senti dans la main.*

Cette hypothèse est appuyée une remarque d'une autre personne :

*« Il y a définitivement une sensation différente sur la...sur la main, je ne sais pas exactement, si c'est une vibration qui vient du son ou de...de l'instrument lui-même, j'arrive pas à l'identifier. »*

Au cours d'une autre session, l'intensité des vibrations était tellement à la limite de la perception de l'utilisateur que celui-ci se demandait s'il les avait vraiment ressenties – bien que ce soit lui-même qui ait évoqué l'idée de vibration pour la première fois :

*« Ouais je [ne] la sens plus, ou alors est-ce que je l'imaginais ? Non je [ne] la sens plus. »*

On peut là aussi se demander si ce doute provient d'un effet de masquage par le son.

Le cas d'un autre utilisateur est particulièrement marquant en ce qui concerne la modulation des perceptions haptiques par des facteurs de nature différente. Il s'agit d'une personne habituée à un certain type d'expérimentations menées autour de simulations multisensorielles, dans lesquelles on présente aux sujets différentes situations où l'une ou l'autre des modalités, en particulier la modalité haptique, est désactivée par moments. Pensant se trouver dans une telle situation, cet utilisateur a commencé par déclarer de ne pas sentir de frottement avec la corde :

*« On a une bonne sensation de percussion mais pas du tout de frottement. »*

Puis, il a laissé comprendre à plusieurs reprises qu'il « savait » que le retour de force lié au frottement avec la corde était désactivé, et qu'il attendait le moment où il serait activé, ce qui lui permettrait de mieux maîtriser la simulation :

*« Ce que je veux dire, c'est que forcément, si on sent le frottement ce sera peut-être plus facile. Du coup, j'attends la situation de frottement dans laquelle je vais voir si effectivement cette tâche sera plus facile. »*

*« Je ne suis même pas sûr que le frottement va vraiment m'aider. »<sup>2</sup>*

C'est le seul utilisateur à n'avoir déclaré ressentir de frottement qu'à la troisième simulation – dans son cas, une simulation de type CA, alors que les deux premières étaient de type DP. Ses croyances – en l'occurrence fausses, puisque le retour d'effort était activé dans toutes les simulations pour tous les utilisateurs – ont donc suffi à affaiblir suffisamment l'attention portée à ses sensations haptiques pour que celles-ci n'atteignent pas un niveau de perception consciente. On peut par ailleurs émettre l'hypothèse, que rien dans l'observation effectuée ne permet de confirmer ni d'infirmer, qu'un effet de masquage par le son a contribué à cet effet.

Ces réactions sur la faible intensité du retour tactile sont à relativiser au vu des remarques faites par d'autres utilisateurs, dont le violoncelliste :

*« Il y a le rebondi comme ça qui est pas mal [...] après on sent la vibration de la corde dans les doigts ce qui est assez incroyable [...] On la sent plus, je pense, que sur un instrument réel, beaucoup plus » (Utilisateur violoncelliste)*

*« J'ai pas la sensation d'avoir un archet parce que je pense que pour moi ça va se relier à une vibration moindre [...] J'ai du mal à penser qu'un archet vibrerait comme ça. »*

---

<sup>2</sup> Effectivement, lorsque le frottement fût activé selon lui, il déclara que cela ne l'aidait en rien à réaliser la tâche qui lui était assignée – ce qui est peu étonnant, puisque ce frottement était présent depuis le début.

De fait, les comparaisons effectuées par nos soins avec un violon et un violoncelle en jouant un Si 3 semblent effectivement montrer que les simulations renvoient des vibrations d'une intensité supérieure à celles produites par les instruments réels dans ces conditions. En revanche, le violoncelle joué dans un registre grave peut renvoyer des sensations similaires. Le violoncelliste le confirmera d'ailleurs, en parlant des vibrations de l'interface de jeu :

*« Sur une corde grave c'est quelque chose de... comment... de concevable assez bien. Sur une corde aigue, donc sur des vibrations à plus haute fréquence, c'est plus étonnant. »*

## 5. Espace de jeu

Comme nous l'avons déjà souligné, l'espace de jeu proposé aux utilisateurs était de dimensions relativement restreintes, aussi bien sur l'axe latéral correspondant au frottement que sur l'axe vertical permettant de dégager l'archet de la corde. Si tous les utilisateurs n'ont pas évoqué cette question de l'espace de jeu, en revanche ceux qui l'ont fait ont employé des termes négatifs, évoquant une situation peu pratique ou contraignante, voire un sentiment de frustration quant aux limites que cela impose en terme de variété des gestes possibles. Il apparaît donc assez clairement – et ce n'est pas une surprise – que l'espace de jeu pourrait être plus grand. Ce qui est plus surprenant en revanche est que tous les utilisateurs n'aient pas signalé cet aspect – surtout lorsqu'on leur demandait s'il pouvaient « jouer quelque chose » – et que celui-ci n'ait pas empêché certaines d'entre eux de visiblement entrer dans un rapport très intime avec le dispositif.

Notons que certains utilisateurs ont déclaré percevoir une différence d'espace de jeu en passant à une nouvelle simulation, en particulier, pour l'un d'entre eux, en passant d'un temps d'amortissement court à un temps d'amortissement long. Ces différences perçues étaient uniquement subjectives puisqu'elles ne correspondaient à aucune modification concrète dans les simulations. Ceci nous apporte peut-être un nouvel éclairage sur la préférence générale des utilisateurs pour les simulations à temps d'amortissement long : permettant d'obtenir des sons plus longs, elles offriraient ainsi une compensation au fait que l'interface ne permet de faire que des mouvements de faible amplitude et donc de courte durée. En retour, ceci produirait une sensation d'espace supplémentaire.

L'autre point remarquable est l'usage fait par les utilisateurs d'un degré de liberté « supplémentaire » offert par l'interface : un basculement d'avant en arrière du joystick, non relié au système de capteurs/actionneurs et donc sans aucune incidence directe sur la simulation. Bien qu'à priori inutile du strict point de vue de la simulation et parfois jugé déstabilisant au premier abord, ce degré de liberté a été mis à contribution systématiquement, de diverses manières, par les utilisateurs. Par exemple, dans la tâche de continuité du son assignée lors de la série d'expériences de janvier 2011, presque tous les utilisateurs ont profité de cette possibilité pour tenter de réaliser la tâche à l'aide de mouvements circulaires. Si cette stratégie s'avérait en général peu payante, elle semble avoir permis à plusieurs personnes de s'approcher d'une meilleure solution, comme des mouvements en « 8 » qui exploitent eux aussi l'espace « inutile » disponible. Un utilisateur, de la première série, a utilisé ce même mouvement circulaire pour générer des motifs rythmiques très réguliers, en exploitant tous les contours de l'espace de manipulation.

## 6. Relation geste – son et instrumentalité

La richesse du corpus de dialogues établi au cours des observations nous a permis de recueillir de nombreuses remarques sur les qualités purement sonores et purement tactiles des simulations proposées. Mais il faut noter, et ceci est tout à fait important, que la majorité des remarques faites par les utilisateurs ne porte pas sur l'un ou l'autre de ces aspects, mais sur les relations qu'ils entretiennent. Ceci est le signe d'une interaction instrumentale ou en tous cas de ses prémisses.

De façon générale, la cohérence et la richesse de la relation geste - son ont été soulignées :

*« Au son, et puis à la réaction et puis au toucher, ça semble bien réaliste »  
« C'est intéressant. J'obtiens différents timbres en pressant plus fort sur la corde. OK, ça semble naturel. »*



*« Je pense que c'est assez réaliste de ce que j'ai entendu comme violon, la durée du son est cohérente, est cohérente aussi avec l'effort que je mets dedans. »*

Cette dernière remarque met particulièrement en lumière la continuité énergétique entre le geste et ses effets, caractéristique d'une relation ergotique. Notons que le concept de réalisme des simulations (et les notions connexes, comme l'aspect « naturel ») n'a jamais été abordé par l'animateur, il est introduit par les utilisateurs.

Néanmoins, deux comportements ont été signalés comme relativement étonnants, artificiels, voire gênants, par les utilisateurs :

- Dans les simulations CA, il était impossible de mettre en oscillation la corde dans des conditions de forte pression combinée à un mouvement lent.
- Dans les simulations DP, ces mêmes conditions produisaient un son souvent perçu comme trop inharmoniques et/ou trop régulier selon le mode de jeu exact.

Dans les deux cas, il faut souligner que les niveaux de pressions mis en jeu sont trop importants pour être tout à fait compatibles avec une pratique musicale : il correspondent en revanche à ce qui était demandé aux utilisateurs, soit une exploration aussi complète que possible des simulations. Ceci ne signifie pas pour autant que les problèmes correspondants soient à négliger – il est d'ailleurs tout à fait possible de les corriger – car ces conditions particulières peuvent être réunies de façon ponctuelle au cours d'une séquence de jeu. De plus, ils peuvent avoir un impact non négligeable sur la sensation de présence des objets simulés et sur la crédibilité de la simulation. Ceci a été plus particulièrement observé dans le cas des simulations CA : plusieurs utilisateurs ont exprimé de la frustration ou une perte de repères dues au fait que la corde semblait « disparaître » lorsqu'on exerçait une forte pression sur elle, c'est-à-dire précisément au moment où elle aurait dû se faire sentir le plus. La gêne occasionnée a semblé assez forte dans de nombreux cas.

Les discussions avec les utilisateurs font également apparaître d'autres « indices » de l'instrumentalité. Tout d'abord, les observations tendent à montrer qu'un transfert de compétences est possible entre la pratique d'un instrument à cordes frottées et celle des simulations, malgré les différences évidentes des deux situations : position différente, absence de la main, présence d'une seule corde, taille restreinte de l'espace de jeu. Un résultat – qui demanderait à être confirmé par d'autres observations - vient appuyer ce constat : dans la tâche de continuité du son, le violoncelliste a obtenu les meilleurs résultats alors que le tirage au sort lui a réservé les conditions les plus défavorables (temps d'amortissement court pour les trois simulations). Sa performance a même réussi à tromper l'équipe d'observations qui, ne sachant pas à l'avance quelles simulations allaient être lancées et dans quel ordre, avait pris l'habitude de tenter de deviner en observant l'utilisateur.

Par ailleurs, l'ensemble des utilisateurs avec lesquels le sujet a été abordé a déclaré que les possibilités d'apprentissage étaient réelles : la complexité des simulations était suffisante pour que des compétences liées puissent se développer.

Enfin, et c'est sans doute là un des points les plus significatifs, l'observation du jeu des utilisateurs avec les harmoniques (notamment avec les simulations DP, qui y étaient particulièrement propice) a montré chez au moins deux d'entre eux le développement d'une connaissance éactive [7], c'est-à-dire une connaissance qui s'exprime difficilement, voire pas du tout, mais qui est néanmoins présente dans le corps. En effet, ces deux utilisateurs s'étaient temporairement fixés comme objectif de passer à volonté de l'une à l'autre des trois premières harmoniques du son en incluant la fondamentale, objectif difficile à atteindre après moins d'une heure de jeu. Leur objectif a dans une certaine mesure été atteint et leurs progrès étaient évidents, mais dans le même temps, ils déclaraient ne pas y arriver du tout – alors que les faits montraient le contraire – et n'étaient pas en mesure de décrire les stratégies de leurs tentatives. En d'autres termes, ils étaient en train d'apprendre quelque chose qu'ils étaient incapables de formuler – phénomène bien connu dans l'apprentissage des instruments acoustiques

## **7. Conclusions et perspectives**

Les travaux décrits dans cet article nous ont permis de collecter une grande quantité d'informations grâce à la méthode choisie pour interagir avec les utilisateurs, c'est-à-dire la combinaison d'une exploration libre et d'un entretien non directif. Les observations liées à la psychoperception, tel que l'effet de masquage de la

perception sonore sur la perception haptique qui semble avoir eu lieu plusieurs fois, reste bien entendu à confirmer par des études ciblées et utilisant une méthodologie expérimentale différente.

En ce qui concerne l'évaluation des simulations proposées aux utilisateurs, il a été possible de confirmer leur qualité générale en termes d'expressivité et de jouabilité et nous avons identifié deux problèmes principaux : la « perte » apparente de la corde dans les simulations CA lorsque ceux-ci sont joués avec une pression très importante, et le timbre relativement artificiel des simulations DP joués dans des conditions similaires. Ces observations seront prises en compte pour la réalisation des prochaines versions de ces simulations.

Plus fondamentalement, nous avons observé que ce type de problèmes a un impact important sur les utilisateurs, qui peuvent être déstabilisés, voire irrités par les comportements montrant un manque de cohérence physique des simulations. De cette observation, on peut en déduire que la conception d'instruments virtuels basés sur des modèles physiques demande une grande attention à la crédibilité des simulations dans l'ensemble des conditions de jeu possibles, même si celles-ci ne sont pas nécessairement toutes mises en œuvres dans une pratique musicale réelles.

## 8. Remerciements

Les travaux présentés dans ce document ont reçu le soutien du projet *Créativité Instrumentale*, financé avec le support de l'Agence Nationale de la Recherche française, dans le cadre du programme *la Création : Acteurs, Objets, Contextes 2008* - ANR-08-CREA-031.

## 9. Références

- [1] Pascal Amphoux. « L'observation récurrente : une approche reconstructive de l'environnement construit », in *Espaces de vie. Aspects de la relation homme-environnement*, Moser G., Weiss K. (Ed.), Paris : Armand Colin, 2003, p. 227-245.
- [2] Claude Cadoz, « Musique, geste, technologie », in *Les nouveaux gestes de la musique*, Genevois H., de Vivo R. (Ed.), Marseille : Éditions Parenthèses, 1999, p. 47–92.
- [3] Maria Christou, Olivier Tache, Annie Luciani, Jean-Loup Florens et Daniel Barthélemy, « Virtual Instrumentality : Exploring Embodiment in Artistic Installations », in *Proceedings of ISEA 2011*, Istanbul, 2011.
- [4] Jean-Loup Florens. « Expressive Bowing on a Virtual String Instrument », in *Gesture-Based Communication in Human-Computer Interaction*, Camurri A., Gaultiero V. (Ed.), Springer : Berlin / Heidelberg, 2004, p. 447-448.
- [5] S. O'Modhrain, S. Serafin, C. Chafe, J. O. Smith III. Qualitative and Quantitative Assessment of a Virtual Bowed String Instrument. *Proceedings of the 2000 International Computer Music Conference*, ICMA, 2000.
- [6] Charles Nichols. « The vBow: development of a virtual violin bow haptic human-computer interface », in *Proceedings of the Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pages 29–32, Dublin, Ireland, 2002.
- [7] Elena Pasquinelli, « Enactive Knowledge », in *Enaction and Enactive Interfaces : A Handbook Of Terms*, Annie Luciani et Claude Cadoz (Ed.), ACROE : Grenoble, 2007, p. 93.
- [8] Stephen Sinclair, Marcelo M. Wanderley, Vincent Hayward et Gary Scavone. « Noise-free haptic interaction with a bowed-string acoustic model », *IEEE World Haptics Conference*, 2011.
- [9] Jim Woodhouse, « Bowed string simulation using a thermal friction model », *Acta Acustica united with Acustica*, 89:355–368, 2003.

## 10. A propos des auteurs



*Olivier Tache est ingénieur de recherche à l'ACROE. Il est titulaire d'un doctorat de l'Institut Polytechnique de Grenoble, spécialité Ingénierie de la cognition, de l'interaction, de l'apprentissage et de la création.*



*Steve Sinclair est doctorant au laboratoire IDMIL, de l'université McGill, à Montréal (Canada).*



*Jean-Loup Florens est ingénieur de recherche à l'ACROE, dont il est l'un des fondateurs.*



*Marcelo M. Wanderley est professeur au département Music Technology de l'université McGill et directeur du CIRMMT, à Montréal (Canada).*