2EME PARTIE :

TRAVAUX EXPÉRIMENTAUX
Création artistique et énaction

QUALITÉS TACTILES ET SONORES DANS LE JEU INSTRUMENTAL DE CORDES FROTTÉES : EXPLORATION PAR LA SIMULATION

Olivier Tache
ACROE
olivier.tache@imag.fr

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

Jean-Loup Florens
ACROE
florens@imag.fr

Marcelo M. Wanderley
IDMIL, McGill University.
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 véritablement instrumentale. Cet article présente une étude qualitative d'une telle relation dans le cas du jeu d'archet sur une corde virtuelle simulée à l'aide de modèles de type masses-interactions et guide d'onde. Un groupe d'utilisateurs a été invité à explorer les possibilités de différentes simulations et à exprimer dans le même temps ses impressions. L'analyse des propos nous permet d'identifier certaines caractéristiques des dispositifs testés qui conditionnent l'existence d'une interaction riche et intime.

MOTS-CLÉS : interaction instrumentale, interfaces à retour de force, modélisation physique, informatique musicale, frottement d'archet, corde frottée, haptique

1. Introduction

Les recherches menées actuellement dans le domaine des systèmes électroniques pour la création musicale promettent une interaction entre l'homme et la machine qui soit de la même richesse que celle qui existe traditionnellement entre l'homme et les objets de son environnement, tout en profitant des possibilités propres aux nouvelles technologies. Dans le domaine de la création artistique, il peut s'agir pour cela de recréer avec les dispositifs numériques une situation d'interaction instrumentale, c'est-à-dire une situation dans laquelle d'une part les variables de

contrôle (signaux des capteurs et actionneurs à l'interface avec l'utilisateur) et les variables contrôlées (paramètres des algorithmes de synthèse sonore) sont de natures similaires et, d'autre part, il existe une relation ergotique geste-son, c'est-à-dire un continuum énergétique entre les gestes produits et leurs effets [Cadoz 1999]. Par exemple, dans ce cas, une force captée par un transducteur de force va contrôler une entrée «force» d'un modèle physique d'instrument ; l'algorithme de simulation ensuite renvoie une force à l'utilisateur à travers les actionneurs présents dans le système.

Une telle situation est aujourd'hui réalisable 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, il est nécessaire de s'interroger sur les caractéristiques nécessaires pour qu'un dispositif numérique propose une véritable interaction instrumentale simulée. Question délicate, 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 ANR Créativité Instrumentale, nous avons étudié cette notion d'instrumentalité par le biais d'une situation emblématique, le jeu de l'archet sur une corde simulée, déjà abordée par de nombreux auteurs, dont [O'Modhrain et al. 2000], [Nichols 2002], et [Woodhouse 2003]. Il s'agissait dans l'étude de proposer à des personnes d'utiliser de façon relativement libre une simulation audio-haptique d'une corde frottée afin d'une part d'observer le déroulement de leur interaction avec celle-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 audiovisuel de la personne en train de jouer) et d'autre part de recueillir leurs impressions par le biais d'un entretien avec un animateur réalisé au cours de la manipulation elle-même. Les observations ainsi réalisées permettent d'analyser de nombreux aspects de la situation de jeu. Dans cet article, nous présentons l'analyse qualitative réalisée à partir des propos tenus par les utilisateurs afin d'identifier les principaux concepts et qualités mis en jeu par la situation et qui sont donc déterminants dans la construction de l'interaction instrumentale souhaitée.

2. Méthode

Les observations ont été réalisées selon une méthode inspirée des travaux de Pascal Amphoux [Amphoux 2003] déjà utilisée dans le cadre du projet Créativité Instrumentale [Christou et al. 2011]. Elle permet 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 forgent, 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 – un animateur était présent au cours des sessions, ayant à la fois le rôle d'incitateur dans la découvert des possibilités de jeu et d'interlocuteur. L'animateur avait pour consigne de ne pas introduire de nouveau terme lors de son dialogue avec l'utilisateur, afin de s'assurer que les concepts discutés proviennent bien de l'utilisateur. Le dispositif d'observation était complété par deux autres personnes 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, les signaux sonores, de force et de position issus de la simulation étaient enregistrés pour une exploitation ultérieure, qui ne sera pas abordée dans le présent article.

Le poste de jeu était constitué d'une interface à retour de force ERGON_X, d'une enceinte placée à proximité immédiate 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 légèrement différentes de l'interface elle-même. Lors de la première série, l'interface était munie d'un habillage de type joystick offrant un espace de manipulation de l'ordre de 10 cm de diamètre, soit des dimensions très restreintes par rapport à celui du jeu réel sur la plupart des instruments à cordés frottées (Figure 1 – gauche). Dans la deuxième série, l'interface était équipée d'un habillage a priori plus adapté, muni d'une baguette métallique articulée, offrant 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). Les axes de mouvements possibles étaient les mêmes dans les deux cas.

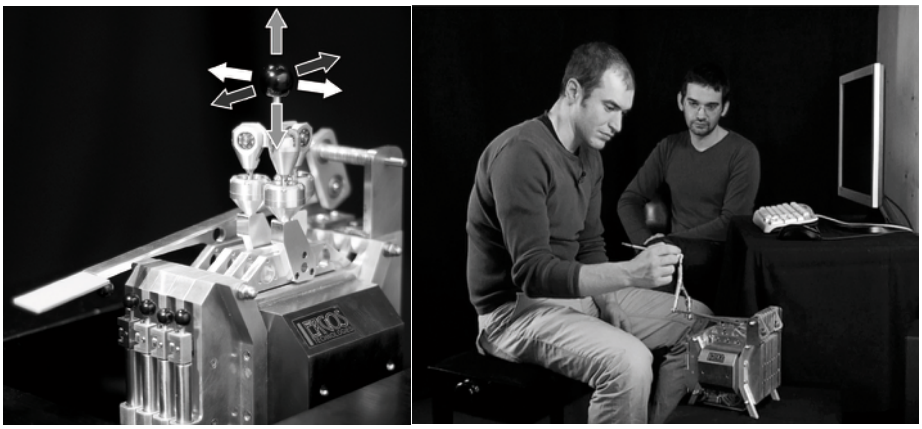


Figure 1. A gauche, interface à retour de force ERGON_X utilisée pour les expériences, équipée de l'habillage de type «joystick» ; le mouvement selon l'axe transversal (blanc) permet d'exciter la corde, le mouvement selon l'axe vertical (gris clair) d'approcher ou d'éloigner l'archet virtuel de la corde et le mouvement selon l'axe longitudinal (gris foncé) est sans effet sur la simulation. A droite, vue d'ensemble du poste de jeu lors de la deuxième série d'expériences ; l'utilisateur tient dans sa main l'habillage de type «archet».

Quatre simulations physiques différentes étaient proposées successivement : deux simulations réalisées avec le formalisme de modélisation masses-interactions CORDIS-ANIMA [Florens 2004] 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 [Sinclair et al. 2011]. Pour chacun de ces deux types de simulations, les deux versions différaient uniquement par l'amortissement de la corde : une simulation présentait un temps d'amortissement d'environ 0,5 s, et l'autre d'environ 2,5 s. Le temps d'amortissement court correspond à celui d'une corde jouée lorsqu'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.

Temps d'amortissement Type de modèle	Court	Long
CORDIS-ANIMA (CA)	CAC	CAL
Guide d'onde + DISTPLUCK (DP)	DPC	CAL

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 peut être produit aussi bien par un violon que par un violoncelle, ce qui offrait une expérience plus ouverte que dans le cas où la note n'aurait pu provenir que de l'un ou l'autre de ces instruments.

A travers ces sessions de jeu, il ne s'agissait pas simplement de comparer point par point différentes techniques de modélisation et de simulation 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 présentait surtout l'intérêt d'offrir des contrepoints, des contrastes qui facilitent la parole des utilisateurs. Il est en effet difficile de décrire sans un entrainement spécifique des sons et plus encore 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 trop de descriptions 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 (par exemple : «j'ai l'impression que la corde me résiste plus que dans la configuration précédente», qui fait apparaître la notion de résistance au mouvement, implicite 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, dont 6 plus particulièrement 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 proposées. L'animateur avait alors pour rôle de veiller à ce que cette exploration soit aussi poussée que possible dans les limites d'une durée d'expérimentation raisonnable. La deuxième série (janvier-février 2011) a rassemblé 16 autres utilisateurs d'un public plus varié, comprenant en particulier un violoncelliste en activité, un ancien violoniste, 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, suivie d'une phase contrainte où il était demandé à l'utilisateur de réaliser une tâche précis. Durant cette phase, il s'agissait pour eux de produire un son aussi continu que possible lors des changements de direction de l'archet. Nous ne mentionnerons pas ici les résultats propres à cette tâche.

Dans la suite de cet article, nous présenterons les principales conclusions tirées de l'étude des propos enregistrés au cours des expériences. Les différents thèmes abordés (Perception du son, Perception tactile et haptique, Espace de jeu, Relation geste-son et instrumentalité) sont eux-mêmes issus de cette analyse et n'étaient pas identifiés au préalable.

3. Perception du son

L'observation la plus immédiate en ce qui concerne la perception du son est que la quasi-totalité des utilisateurs ont été capables de discriminer très rapidement les deux types de modèles (CA et DP) en fonction de leurs timbres – qui sont objectivement très différents, notamment avec une prédominance des harmoniques d'ordre élevé dans les 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, caractérisé par une obtention très aisée des harmoniques d'ordre 2 et 3, voire par une absence de la fondamentale dans certaines conditions de vitesse et de pression de l'archet.
Ignorant que la nature même des techniques de modélisation pouvait être différente d'une simulation à l'autre, plusieurs utilisateurs ont interprété certains sons comme la transformation d'autres entendus 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).

Pour deux utilisateurs, cette différence était tellement marquée qu'ils se demandèrent, 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 suggèrent 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 a pu produire un certain intérêt, puisque le même utilisateur que précédemment déclare à la fin de sa session d'expérimentation :

«*C'était cool de jouer de la flûte avec un archet* !»
A l'exception de ces deux cas, aucun autre 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 faut noter que le temps d'amortissement long a très largement été préféré au temps d'amortissement court, ce qui apparaît de façon très claire dans les commentaires faits par les utilisateurs, mais aussi par rapport aux 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 tient au raisonnement «qui peut le plus peut le moins» : étant donné qu'il est possible d'amortir la corde à volonté, simplement en lui posant l'archet dessus, le temps d'amortissement long offre donc plus de possibilités. Par ailleurs, un utilisateur a suggéré le fait qu'une résonance longue de la corde prolonge la présence de l'instrument lorsque l'archet n'est plus en contact avec la corde, ce qui est peut-être d'autant plus important qu'aucune représentation visuelle du système simulé n'est donnée :

«*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.

Cette préférence pour l'amortissement moindre n'est cependant pas universelle ; un utilisateur a probablement bien résumé la façon de traiter cette question en déclarant, à propos de cette variable de la simulation :

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

4. Perception tactile et haptique

L'ensemble des simulations proposées aux utilisateurs présentaient, du point de vue haptique, trois comportements principaux 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 selon l'axe vertical de manipulation.
La plupart des utilisateurs ayant évoqué ce rebond l'ont fait en des termes laissant à penser qu'il joue un rôle positif 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 suscité 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. Certains utilisateurs peu familiers des interfaces à retour de force ont probablement interprété la résistance de la corde comme la résistance propre de l'interface. Notons que ces utilisateurs n'avaient pas encore découvert qu'il était possible de soulever le joystick, ce qui permet de

décoller l'archet virtuel de la corde et donc de faire disparaître 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, ils 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 vibrations haptiques :

Animateur : «*Comment tu décrirais ça ?*»
Utilisateur : «*Je l'ai d'abord entendu puis je l'ai senti dans la main* ».

Cette hypothèse est appuyée par 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 type particulier d'expérimentations dans le domaine des simulations multisensorielles, au cours desquelles la modalité haptique est par moments partiellement ou complètement désactivée à l'insu du sujet. Cet utilisateur a commencé par déclarer 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 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*».

Effectivement, lorsque le frottement fût selon lui «activé», 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 la session.
Il s'agit du seul utilisateur à n'avoir pas déclaré ressentir de frottement avant 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 frottement était présent 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.
Néanmoins, 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. […] 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*».

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 aigüe, 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 soulever l'archet. 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 ainsi imposées en terme de variété des gestes possibles. Il apparaît donc assez clairement – et ce n'est pas une surprise – qu'un espace de jeu plus grand offrirait de meilleures conditions. Ce qui est plus surprenant en revanche est que tous les utilisateurs n'aient pas signalé cet aspect – en particulier lorsqu'on leur demandait s'il pouvaient «jouer quelque chose» – et que celui-ci n'ait pas empêché certains d'entre eux de visiblement entrer dans un rapport très intime avec le dispositif.

Notons que plusieurs 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 pourrait induire une sensation d'espace accrue.

Un autre point remarquable est l'usage fait par les utilisateurs du degré de liberté «supplémentaire» offert par l'interface : le basculement d'avant en arrière du joystick, qui n'est pas relié mécaniquement au système de capteurs/actionneurs et n'a donc aucune incidence directe sur la simulation. Bien qu'inutile du strict point de vue de la simulation et jugé déstabilisant au premier abord par certains utilisateurs, ce degré de liberté a été mis à contribution systématiquement, de diverses manières. Par exemple, lors de la deuxième série d'expériences, presque tous les utilisateurs ont profité de cette possibilité pour tenter de réaliser la tâche de continuité du son à l'aide de mouvements circulaires du joystick. Si cette stratégie s'avérait peu payante, elle semble néanmoins avoir permis à plusieurs personnes de s'approche d'une meilleure solution, comme des mouvements en «8» qui exploitent eux aussi ce degré de liberté. Un utilisateur de la première série d'expérience a par ailleurs utilisé ce même mouvement circulaire pour générer des motifs rythmiques très réguliers, en exploitant le contour de l'espace de manipulation, ce qui montre que les possibilités offertes par l'interface peuvent être utilisées de manière créative même si elles ne sont pas liées directement à la simulation elle-même. D'après ces observations, le degré de liberté «avant-arrière» apparaît comme l'un des éléments assurant l'expressivité du dispositif.

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 exclusivement sur l'un ou l'autre de ces aspects, mais sur les relations qu'ils entretiennent. Ceci est un premier signe de l'existence d'une interaction instrumentale, dans laquelle les effets – les sons produits – ne sont pas séparés de leur cause – les gestes.
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 des timbres différents en appuyant 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 souligne 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. D'une part, dans les simulations CA, il était impossible de mettre en oscillation la corde dans des conditions de forte pression combinée à un mouvement lent. D'autre part, dans les simulations DP, ces mêmes conditions produisaient un son souvent perçu comme 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 confortables, en tous cas sur une durée importante. Ils correspondent en revanche à ce qui était demandé aux utilisateurs, c'est-à-dire une exploration aussi complète que possible des simulations proposées. Ceci ne signifie

pas pour autant que les problèmes signalés soient négligeables, 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, précisément au moment où elle aurait dû se faire sentir le plus.

Les discussions avec les utilisateurs font 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, jeu avec une seule main sans simulation du manche de l'instrument, 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 : pour 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 (uniquement des modèles avec temps d'amortissement court). Sa performance a même réussi à tromper l'équipe d'observation qui avait pris l'habitude d'essayer de deviner l'ordre des simulations au cours des expériences.

Par ailleurs, l'ensemble des utilisateurs avec lesquels le sujet a été abordé ont déclaré que les possibilités d'apprentissage étaient réelles : la richesse des simulations était d'après eux suffisante pour qu'un utilisateur régulier puisse apprendre de nouvelles techniques de jeu. Nous avons d'ailleurs pu assister à une telle situation. L'observation du jeu des utilisateurs avec les harmoniques du son, notamment avec les simulations DP qui y étaient particulièrement propice, a en effet montré chez au moins deux d'entre eux le développement d'une connaissance énactive, c'est-à-dire d'une connaissance inscrite en premier lieu dans le corps par l'expérience psychomotrice et par conséquent très difficile à communiquer de façon verbale [Pasquinelli 2007]. Ces deux utilisateurs s'étaient temporairement donné pour but de faire sonner à volonté l'une ou l'autre des trois premières harmoniques du son, objectif difficile à atteindre après moins d'une heure de pratique. Ils y sont néanmoins parvenus dans une certaine mesure et leurs progrès étaient évidents pour

les observateurs. Mais dans le même temps, ils déclaraient ne pas y arriver du tout et n'étaient pas en mesure de décrire leur manière de s'y prendre. Ils étaient donc en train d'apprendre quelque chose qu'ils étaient incapables de formuler, phénomène bien connu dans l'apprentissage des instruments acoustiques qui rend si important l'apprentissage par l'exemple.

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 des simulations 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 s'être manifesté plusieurs fois, demanderaient bien entendu à être confirmées par des études dédiées.

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 plusieurs observations montrent que les dispositifs proposés permettent effectivement à une interaction instrumentale de se développer. Nous avons néanmoins identifié deux problèmes, liés à des modes de jeu particuliers, qui pourront être pris en compte pour de futures améliorations des modèles. Plus fondamentalement, nous avons observé que ce type de problèmes a un impact important sur les utilisateurs, qui peuvent être fortement déstabilisés par les comportements montrant un manque de cohérence physique des simulations. 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 lorsque celles-ci sont peu importantes dans le cadre de la pratique musicale.

Enfin, nous avons pu constater qu'un espace de jeu restreint ne constitue pas un obstacle rédhibitoire à la jouabilité des simulations, et que la présence d'un degré de liberté supplémentaire non lié à la simulation renforce considérablement la diversité des gestes et des techniques de jeu accessibles, offrant ainsi un degré d'expressivité supérieur.

Remerciements

Les travaux présentés dans ce document ont reçu le soutien du Ministère de la Culture et de la Communication et du projet CRÉATIVITÉ Instrumentale ANR-08-CREA-031, financé avec le support de l'Agence Nationale de la Recherche française, dans le cadre du programme «La Création : Acteurs, Objets, Contextes 2008». Tous nos remerciements également à Annie Luciani, instigatrice de l'adaptation de la méthode des entretiens libres et semi-structurés aux thématiques du laboratoire ACROE-ICA.

Références

[Amphoux 2003] 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.

[Cadoz 1999] 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.

[Christou et al. 2011] Maria Christou, Olivier Tache, Annie Luciani, Jean-Loup Florens et Daniel Barthélemy, «Virtual Instrumentality : Exploring Embodiment in Artistic Installations», in *Proceedings of ISEA 2011*, Istambul, 2011.

[Florens 2004] Jean-Loup Florens. «Expressive Bowing on a Virtual String Instrument», in *Gesture-Based Communication in Human-Computer Interaction*, Camurri A., Gualtiero V. (Ed.), Springer : Berlin / Heidelberg, 2004, p. 447–448.

[O'Modhrain et al. 2000] S. O'Modhrain, S. Serafin, C. Chafe, J. O. Smith III. «Qualitative and Quantitative Assessment of a Virtual Bowed String Instrument», in *Proceedings of the 2000 International Computer Music Conference*, ICMA, 2000.

[Nichols 2002] Charles Nichols. «The vBow: development of a virtual violin bow hap- tic human-computer interface», in *Proceedings of the Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Dublin, Ireland, 2002, p. 29–32.

[Pasquinelli 2007] Elena Pasquinelli, «Enactive Knowkedge», in *Enaction and Enactive Interfaces : A Handbook Of Terms*, Annie Luciani et Claude Cadoz (Ed.), ACROE : Grenoble, 2007, p. 93.

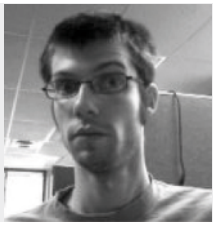
[Sinclair et al. 2011] Stephen Sinclair,

Marcelo M. Wanderley, Vincent Hayward et Gary Scavone. «Noise-free haptic interaction with a bowed-string acoustic model», in *IEEE World Haptics Conference*, 2011.

[Woodhouse 2003] Jim Woodhouse, «Bowed string simulation using a thermal friction model», in *Acta Acustica united with Acustica*, 89:355–368, 2003.

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).