

NUMÉRO 24

AOÛT 2006

RECHERCHE
EN
ÉDUCATION
MUSICALE



UNIVERSITÉ
LAVAL

Faculté de musique

NUMÉRO 24

AOÛT 2006

RECHERCHE
EN
ÉDUCATION
MUSICALE



faculté de
musique

La revue *Recherche en éducation musicale* paraît annuellement et sa publication est assurée grâce au soutien administratif et financier de la Faculté de musique de l'Université Laval. En ce qui concerne la publication, l'administration ou la distribution de la revue, prière de s'adresser au

Directeur de la revue *Recherche en éducation musicale*
Faculté de musique
Pavillon Louis-Jacques-Casault
Université Laval
Sainte-Foy (Québec)
G1K 7P4
Courriel : Raymond.Ringuette@mus.ulaval.ca

Directeur de la revue :

Raymond Ringuette

Collaboratrice :

Jacqueline Lachance

Comité de lecture :

Evelyn Cramer, Université Libre de Bruxelles

Louise Mathieu, Université Laval

Françoise Regnard, CeFEdeM Île-de-France

Eleonor Stubley, McGill University

Rédacteur et réviseur :

Vincent Brauer

ISSN 0844-5923

Dépôt légal — 2006

Bibliothèque nationale du Québec

Bibliothèque nationale du Canada

RECHERCHE EN ÉDUCATION MUSICALE

NUMÉRO 24

AOÛT 2006

SOMMAIRE

Appel d'article

Actes du colloque tenu lors de l'inauguration du Laboratoire de recherche en pédagogie du piano, le 14 octobre 2005 au département de musique de l'Université d'Ottawa : « L'élaboration d'outils pour la recherche en pédagogie du piano »

Directeur de la publication des actes du colloque : Gilles Comeau

Recherche scientifique et pédagogie du piano <i>Gilles Comeau</i>	1
L'élaboration d'une échelle pour mesurer la motivation chez les jeunes élèves en piano <i>Alain Desrochers, Gilles Comeau, Nisreen Jardaneh, Isabelle Green-Demers</i>	13
<i>MIDIator</i> : A Tool for Analysing Students' Piano Performance <i>Shervin Shirmohammadi, Gilles Comeau, Ali Khanafar</i>	35
Technologies d'annotation vidéo et leurs applications à la pédagogie du piano <i>Bruno Emond, Marion A. Barfurth, Gilles Comeau, Martin Brooks</i>	49

Les technologies de l'imagerie au service de l'analyse du mouvement en pédagogie du piano <i>Pierre Payeur, Martin Côté, Gilles Comeau</i>	61
Étude thermographique de pianistes lors d'une séance de travail : évolution de la température superficielle des muscles et premières interprétations <i>Christophe L. Herry, Monique Frize, Rafik A. Goubran, Gilles Comeau</i>	89
Establishing a Biomechanical Basis for Injury Preventative Piano Pedagogy <i>Donald Russell</i>	105
Notices biographiques des auteurs	119
Sommaire des numéros 1 à 23 de la revue	125

APPEL D'ARTICLE

Toute personne désireuse de soumettre un article au comité de lecture du prochain numéro de la revue *Recherche en éducation musicale* est cordialement invitée à faire parvenir par courriel son texte intégral, accompagné d'un résumé et d'une notice biographique d'environ 10 lignes chacun, à :

Raymond Ringuette
Recherche en éducation musicale
Faculté de musique
Pavillon Louis-Jacques-Casault
Université Laval
Sainte-Foy (Québec)
G1K 7P4
Courriel : Raymond.Ringuette@mus.ulaval.ca

DATE LIMITE : LE 1^{er} DÉCEMBRE 2006

L'article devra porter sur une recherche effectuée qui satisfait aux critères suivants :

- pertinence et actualité du sujet,
- valeur scientifique de la recherche,
- qualité de la présentation et de la structure du texte intégral,
- caractère non mercantile du projet.

ACTES

du colloque tenu lors de l'inauguration du
Laboratoire de recherche en pédagogie du
piano, le 14 octobre 2005 au département de
musique de l'Université d'Ottawa :

*« L'élaboration d'outils pour la
recherche en pédagogie du piano »*



Directeur de la publication des actes du colloque: Gilles Comeau

RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET PÉDAGOGIE DU PIANO

Gilles Comeau
Université d'Ottawa

LE CONTEXTE DE L'ENSEIGNEMENT DU PIANO

L'apprentissage d'un instrument à clavier est pratiqué depuis plus de quatre siècles et la popularité de cette activité n'a jamais cessé de croître. Récemment, un sondage canadien classait les leçons de musique et la natation en tête des activités parascolaires privilégiées par les parents, devant le hockey, le soccer et la danse. De tous les instruments de musique, le piano demeure de loin l'instrument le plus populaire avec plus de 85% des élèves inscrits à un examen de musique dans la catégorie piano [1].

Jouer du piano est une activité complexe qui nécessite une longue période d'apprentissage. Le jeu pianistique, à la fois exécution technique et expression artistique, fait intervenir plusieurs dimensions dont la perception, la cognition, la motricité et l'expression. Pour guider sa pratique, l'enseignement du piano relève d'une longue tradition, basée sur l'intuition des enseignants, l'observation informelle, l'expérience des grands maîtres et les méthodes « reconnues ». Ces approches conventionnelles connaissent des résultats remarquables dans la production d'artistes de haut niveau, qui ont appris à jouer de façon admirable. Pourtant, ce succès peut souvent cacher une réalité plus sombre.

D'abord chez les musiciens avancés et les experts, l'incidence des *blessures* liées au jeu pianistique est inquiétante et mérite que l'on s'y intéresse. Les statistiques révèlent que jusqu'à 47% [2] des musiciens professionnels souffriront de blessures liées à la pratique de leur instrument. Mais, ils ne sont pas les seuls puisque près d'un élève sur cinq, soit 17% [2], devra abandonner pour un certain temps la pratique de son instrument ou devra consulter les services médicaux. Les symptômes les plus fréquents sont la tendinite, la dystonie focale, le syndrome du canal carpien. Ces problèmes sont difficiles à traiter et coûteux en termes de frais médicaux.

Ensuite, parallèlement au petit nombre de musiciens experts, on observe un *taux d'abandon* important. Selon certaines études, c'est un pourcentage très élevé des élèves qui débutent le piano qui abandonneront avant même d'avoir maîtrisé les rudiments techniques de l'instrument [3]. Nous savons peu de choses quant aux facteurs qui contribuent à la poursuite ou à l'abandon des études musicales.

De plus, la nature et la fréquence des *difficultés d'apprentissage* liées au jeu pianistique sont peu connues et les approches pouvant y remédier ont été peu étudiées. Que ce soit au niveau de l'apprentissage de la lecture, de la coordination de l'appareil moteur, de la

perfection de la fine motricité, du développement du sens rythmique, de la mémorisation, nous avons encore trop souvent recours aux catégories bien commodes de l'élève doué et non doué pour expliquer les problèmes rencontrés au cours de la formation musicale.

Notre compréhension du processus d'apprentissage du piano demeure rudimentaire et fragmentaire compte tenu de la complexité unique de l'activité. La pédagogie du piano, ce domaine d'étude qui s'intéresse aux composantes qui ont un impact sur l'apprentissage et l'enseignement du piano, a souvent abordé l'apprentissage de l'instrument sous l'angle de la pratique éducative [4-11], des méthodes et des approches techniques [12-23], des notions propres au jeu pianistique [24-31]. Pourtant, si un grand nombre de traités et d'ouvrages ont été publiés sur le sujet, la recension des écrits traitant de la pédagogie du piano laisse apparaître une lacune importante : l'absence de recherches et de données scientifiques. Alors que la recherche expérimentale en psychologie et en éducation a pénétré toutes les sphères de la pratique éducative, la pédagogie du piano bénéficie de bien peu d'études scientifiques. Pourtant, la pédagogie du piano, comme toute entreprise éducative, ne peut se soustraire à l'obligation de s'appuyer sur des données objectives et généralisables.

LE PEU D'INFLUENCE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE SUR LA PRATIQUE MUSICALE

Au cours des dernières décennies, des recherches menées en psychologie ont mesuré certaines composantes précises de l'exécution pianistique, notamment les facteurs cognitifs des habiletés reliées à la lecture à vue [32-45], l'habileté motrice du jeu pianistique [46-53], le contrôle des aspects expressifs de l'interprétation [54-61]. Mais les résultats de ces recherches ont encore très peu d'impact sur l'enseignement du piano. Il suffit pour s'en convaincre de parcourir les principaux manuels de pédagogie du piano [5, 6, 7, 8, 9, 10, 62, 63, 64] écrits dans le but de former les nouveaux professeurs. La présence de résultats scientifiques y est peu fréquente et les stratégies d'enseignement proposées s'appuient rarement sur des théories scientifiques. Deux principaux facteurs peuvent expliquer cette situation : l'appréhension des musiciens envers la recherche scientifique et l'absence d'une science de la pédagogie instrumentale.

La méfiance face à la culture scientifique

La recherche scientifique portant sur le jeu pianistique n'est pas récente. Déjà en 1896, la pianiste et pédagogue Marie Jaëll publiait *La musique et la psychophysiologie*. Mais son ouvrage a été accueilli dans l'indifférence générale : « [mon livre] a plu à trois personnes; à une élève : Jeanne Bosch, à un artiste : Camille Saint-Saëns, à un savant : Charles Féré » [65]. Ce peu d'intérêt pour les thèses développées dans cet ouvrage n'avait guère surpris l'auteure qui affirmait au tout début de son livre : « Les musiciens considèrent l'art et la science comme des domaines opposés [...] s'ils sont destinés à devenir des musiciens, selon une opinion généralement admise, la lumière jaillira par une manifestation spontanée

de leur intuition. » [66] Cette artiste et chercheuse tentait pourtant de dépasser cette antinomie en mettant la science au service de l'art.

S'il n'est pas surprenant de voir qu'à cette époque, le monde scientifique se soit montré très réservé et le monde musical très réticent, il est préoccupant de penser qu'aujourd'hui cette méfiance perdure. Le fait qu'une pratique qui se veut d'abord artistique, soit abordée scientifiquement, est encore souvent perçu comme une entreprise périlleuse et, pour plusieurs pianistes, peu souhaitable : « [musicians] have a deep aversion to the scientific analysis of music [and music practices]. It seems that if [scientists] could reduce music to a set of explicit categories or formula, if [they] could derive an all embracing theory, then music could lose its mystery and power. » [67] Cette perception a inévitablement un impact sur le développement de la pédagogie du piano et contribue souvent à freiner la recherche dans ce domaine. Et, lorsque des données scientifiques sont disponibles, un certain scepticisme et une méconnaissance des concepts fondamentaux rendent souvent difficiles leur application et leur intégration dans la pratique de l'enseignement instrumental.

L'absence d'une tradition de recherche

La pédagogie du piano accuse un retard par rapport aux autres disciplines éducatives; celles-ci ont su profiter davantage de l'arrivée des nouvelles technologies de l'information et ont su mieux intégrer les progrès en psychologie cognitive et en neuroscience. Cette situation s'explique en partie parce que la pédagogie du piano n'a pas encore de véritable tradition de recherche, comparable à ce que l'on retrouve, par exemple, dans les sciences de l'éducation. De plus, la formation scientifique des étudiants en pédagogie du piano est souvent insuffisante, que ce soit au premier cycle où l'on forme à l'enseignement instrumental ou encore aux cycles supérieurs, où l'on vise l'approfondissement des connaissances portant sur les composantes intervenant dans l'apprentissage et l'enseignement du piano. La représentation de la pédagogie instrumentale, comme un domaine de savoir pouvant répondre à des normes de recherche, est encore une entreprise assez inédite.

LA CONTRIBUTION DE LA RECHERCHE

Pourtant, l'acte éducatif peut et doit être analysé scientifiquement. C'est à cette condition seulement que la pédagogie du piano pourra véritablement progresser. La visée de toute entreprise scientifique est de contribuer à l'avancement des connaissances grâce à la collecte systématique de données, à leur analyse et à l'interprétation des résultats. À cause de l'objet particulier auquel elle s'intéresse, la recherche en éducation a aussi pour but d'améliorer la pratique enseignante. Elle informe et oriente les décisions qui guident les conduites et les interventions dans une situation pédagogique.

Toute discipline éducative doit recommander un ordre d'acquisition des connaissances, une organisation temporelle de la présentation des concepts, des notions et des pratiques qui ne s'appuient pas uniquement sur la logique interne de la discipline, mais aussi sur une bonne compréhension des possibilités cognitives des sujets. La recherche en pédagogie peut contribuer à faire connaître les processus généraux d'acquisition en mettant en évidence les fonctions et les attitudes psychologiques nécessaires à l'apprentissage du jeu pianistique. Ainsi, l'approche scientifique permet de rendre explicite l'enseignement des comportements, de décortiquer les concepts à apprendre, de mieux définir les types d'interventions éducatives, et d'exposer les stades de développement reliés aux habiletés pianistiques.

Les résultats de la recherche permettent également de mieux localiser, comprendre et résoudre les difficultés rencontrées par les élèves au cours de leur apprentissage, aussi bien sur le plan moteur et intellectuel, qu'expressif. Toute cette information pourrait avoir un impact important sur les méthodes d'enseignement, les programmes et les manuels mis à la disposition des élèves en piano, tout en donnant aux intervenants en enseignement la possibilité de faire des choix éclairés appuyés sur des connaissances explicites. Le savoir scientifique fournit également les connaissances nécessaires au travail des concepteurs de programme et des formateurs des futurs professeurs de piano.

Il est donc essentiel que la recherche en pédagogie du piano s'élabore selon les normes de la recherche expérimentale et que la cueillette, l'analyse et l'interprétation des données puissent, de par leur rigueur, contribuer à dissiper un grand nombre d'incertitudes et d'hypothèses non fondées. Ainsi, une meilleure compréhension des processus impliqués dans l'apprentissage du piano pourrait favoriser un enseignement plus efficace pour l'*ensemble* des élèves inscrits à des cours de piano et ainsi : 1) assurer qu'un plus grand nombre d'individus gardent une impression positive de leur expérience musicale et, 2) contribuer à augmenter le nombre d'élèves qui parviendront à atteindre un bon niveau de maîtrise du piano.

En plus du besoin d'augmenter nos connaissances des processus fondamentaux de l'apprentissage du piano, il est enfin nécessaire de comprendre comment intégrer les nouvelles technologies de l'information et de la communication. D'un côté, ces technologies augmentent les ressources éducatives mises à la disposition des professeurs de piano en offrant, par la vidéo et les pianos avec dispositif informatique intégré, la possibilité de rétroactions visuelles et auditives instantanées. Et de l'autre côté, elles outillent le chercheur de nouveaux instruments de mesure permettant de représenter graphiquement les caractéristiques acoustiques de la performance musicale et rendent possible le calcul et l'évaluation des gestes pianistiques par des techniques de visualisation numérisée.

L'APPORT D'UN LABORATOIRE DE RECHERCHE EN PÉDAGOGIE DU PIANO

En octobre 2005, avait lieu à l'Université d'Ottawa l'inauguration officielle du Laboratoire de recherche en pédagogie du piano. Construit au coût de 1,2 million de dollars grâce à une subvention de la Fondation canadienne pour l'innovation et la Ontario Innovative Trust, cette nouvelle infrastructure a pour mandat de promouvoir la recherche multidisciplinaire en pédagogie du piano. Suite aux cérémonies d'ouverture, des chercheurs en musique, en psychologie, en neurosciences, en éducation, en génie informatique, en génie biomécanique, en génie biomédical, ont donné un compte-rendu de certains projets de recherche en cours au Laboratoire.

Voici donc une présentation succincte des différentes facettes abordées lors du colloque, ainsi qu'un aperçu des questions auxquelles les chercheurs tentent de répondre.

Motivation. Pour atteindre un niveau de compétence même modeste, les élèves en piano doivent consacrer de nombreuses heures à l'étude et à la répétition de l'instrument. On recommande typiquement aux élèves novices de consacrer quotidiennement 30 à 60 minutes à la pratique de leur instrument. Les exigences de l'apprentissage du piano et les efforts nécessaires pour persévérer dans cette activité sollicitent un niveau élevé de motivation. Pour évaluer la nature et la force de cette motivation, Desrochers (psychologie), Comeau (musique), Jardaneh (musique) et Green-Demers (psychologie) ont étendu le cadre conceptuel de Deci et Ryan [2000] à l'apprentissage du piano et élaboré un instrument de mesure permettant de distinguer différents types de motivation et d'estimer leur intensité.

Nouvelles technologies de l'information. Les technologies de l'information et de la communication offrent de nombreux outils qui viennent modifier considérablement le milieu d'apprentissage du piano. Les possibilités d'enregistrements audio, avec des pianos acoustiques intégrant des systèmes d'interface MIDI, permettent de reproduire instantanément la performance de l'élève. De nouveaux logiciels complexes permettent maintenant d'enregistrer et de quantifier les activités motrices des pianistes. Les formes de technologie visuelle, comme la vidéo, permettent une rétroaction immédiate de la performance gestuelle. Shirmohammadi (génie informatique), Comeau (musique) et Khanafar (génie informatique) décrivent le logiciel *MIDIator* qui permet de générer une représentation graphique des données spécifiques saisies par les interfaces MIDI. Ces interfaces mesurent les écarts de temps en millisecondes et les intensités sonores en fractions de décibel, ce qui permet d'analyser les propriétés expressives du jeu pianiste d'un élève. Émond (éducation et sciences cognitives), Barfurth (éducation), Comeau (musique) et Brooks (informatique) présentent quelques exemples d'application d'annotations vidéo dans le contexte de la pédagogie du piano. Les avantages de la vidéo numérique à des fins d'apprentissage et d'enseignement sont analysés. Payeur (génie informatique), Côté (génie informatique) et Comeau (musique) travaillent à mettre au

point un système de vision numérique qui pourra analyser les gestes des élèves et leur fournir une rétroaction sur les faiblesses de la posture de leur corps au piano. L'utilité de ce système tient au fait que le positionnement libre des caméras permet d'observer les gestes de l'élève dans des perspectives différentes et, ainsi, d'obtenir des images ordinairement inaccessibles pour la rétroaction à l'élève.

Blessures. Nous savons maintenant que la nature répétitive du travail technique au piano peut entraîner, chez les musiciens professionnels et chez les étudiants en musique, des blessures physiques comme les troubles articulaires et les inflammations. Ces problèmes de tension musculaire semblent souvent liés à de mauvaises postures et à une utilisation tendue de l'appareil moteur chez les pianistes. Herry (génie biomédical), Frize (génie biomédical), Goubran (génie biomédical) et Comeau (musique) utilisent un système de caméra thermique infrarouge, une technique non invasive, pour mesurer la température des bras et des mains et, ainsi, étudier le lien entre l'échauffement pendant les répétitions au piano et l'émergence des tensions musculaires, qui parfois dégénèrent en blessures. Russell (génie biomécanique) cherche à établir des liens entre la technique au piano et les blessures reliées au jeu pianistique. Plusieurs approches courantes en biomécanique pourraient fournir des pistes intéressantes pour mieux comprendre les forces intervenant dans le contrôle neuromusculaire d'un individu jouant du piano.

La publication des actes de ce colloque donne un aperçu de la diversité des approches méthodologiques et de la richesse des contributions rendues possibles grâce au travail d'équipes multidisciplinaires. Chacune des disciplines représentées apporte un éclairage particulier et de nouvelles méthodes pour mieux comprendre l'apprentissage du piano. La participation concertée de ces disciplines permet de dégager une représentation considérablement plus riche et globale des problématiques.

Références

1. Babin, A. (2005). « Music conservatories in Canada and the piano examination system for the preparatory student: A historical survey and comparative analysis ». Master's Thesis, Department of Music, University of Ottawa, Ottawa, Canada.
2. Zaza, C. (1998). « Playing-related musculoskeletal disorders in musicians: a systematic review of incidence and prevalence ». *CMAJ*, 158 (8) : 1019-1025.
3. Sloboda, J. A., et Howe, M. J. A. (1991). « Biographical precursors of musical excellence: An interview study ». *Psychology of Music*, 19 : 3-21.
4. Gobeil, C. (1998). *L'apprentissage du piano*. Québec : Les Presses de l'Université de Laval.
5. Camp, M.W. (1992). *Teaching Piano. The Synthesis of Mind, Ear and Body*. Los Angeles : Alfred Publishing.
6. Clark, F. (1992). *Questions and Answer. Practical Advice for Piano Teachers*. Northfield : The Instrumentalist Co.
7. Uszler, M., Gordon, S. et Mach, E. (1991). *The Well-Tempered Keyboard Teacher*. New York : Schirmer.
8. Agay, D. (Éd.) (1981). *Teaching Piano*. Vol.1 et vol.2. New York : Yorktown Music Press.
9. Bastien, J.W. (1977). *How To Teach Piano Successfully*. San Diego : Neil A. Kjos Publishers.
10. Ahrens, C.B. et Atkinson, G.D. (1954). *For All Piano Teachers*. Oakville : Frederick Harris Music.
11. Whiteside, A. (1997). *On Piano Playing*. Portland, Oregon : Amadeus Press. (Édition originale : 1955).
12. Loyonnet, P. (1985). *Les gestes et la pensée du pianiste*. Montréal : Louise Courteau, éditrice.
13. Deschaussées, M. (1982). *L'homme et le piano*. Éditions Van de Velde.
14. Sandor, G. (1981). *On Piano Playing*. New York : Schirmer Books.

15. Hofmann, J. (1976). *Piano Playing*. New York : Dover Publications. (Édition originale : 1909).
16. Lhevinne, J. (1972). *Basic Principles in Pianoforte Playing*. New York : Dover Publications.
17. Neuhaus, H. (1971). *L'art du piano*. Traduction par Olga Pavlov et Paul Kalinine. Éditions Van de Velde.
18. Fink, S. (1997). *Mastering Piano Technique*. Portland, Oregon : Amadeus Press. (Édition originale : 1992).
19. Bernstein, S. (1991). *Twenty Lessons in Keyboard Choreography*. Milwaukee : Hal Leonard Publishing Corporation.
20. Taylor, K. (1981). *Principles of Piano Technique and Interpretation*. Borough Green : Novello.
21. Newman, W.S. (1984). *The Pianist's Problems*. New York : Da Capo Press. (Éditions originale : 1950).
22. Giesecking, W. et Leimer, K. (1972). *Piano Technique*. New York : Dover Publications. (Édition originale : 1938).
23. Kaemper, G. (1968). *Techniques pianistiques*. Paris : Éditions musicales Alphonse Leduc.
24. Schenker, H. (2000). *The Art of Performance*. New York : Oxford University Press.
25. Cooke, J.F. (Éd.) (1999). *Great Pianists on Piano Playing*. New York : Dover Publications. (Édition originale : 1917).
26. Pink, J. (Éd.) (1995). *The Practice of Performance. Studies in Musical Interpretation*. Cambridge : Cambridge University Press.
27. Dunsby, J. (1995). *Performing Music*. New York : Oxford University Press.
28. Kochevitsky, G. (1967). *The Art of Piano Playing*. Secaucus, N.J. : Summy-Birchard Music.
29. Drausz, M. (Éd.) (1993). *The Interpretation of Music*. New York: Oxford University Press.

30. Wolff, K. (1990). *Masters of the Keyboard*. Indianapolis : Indiana University Press. (Édition originale : 1983).
31. Noyle, L.J. (Éd.) (1987). *Pianists on Playing*. London : The Scarecrow Press.
32. Sloboda, J. A. (1978). « The psychology of music reading ». *Psychology of Music*, 68 : 117-124.
33. Sloboda, J. A. (1984). « Experimental studies of music reading: A review ». *Music Perception*, 2 (2) : 222-236.
34. Sloboda, J. A. (1988). *L'esprit musicien: la psychologie cognitive de la musique*. Liège : Pierre Mardaga.
35. Sloboda, J. A. (Ed.), (2001). *Generative processes in music: The psychology of performance, improvisation, and composition*. New York : Oxford University Press.
36. Goolsby, T. W. (1994a). « Eye movement in music reading: Effects of reading ability, notational complexity, and encounters ». *Music Perception*, 12 (1) : 77-96.
37. Goolsby, T. W. (1994b). « Profiles of processing: Eye movements during sight reading ». *Music Perception*, 12 (1) : 97-123.
38. Gudmundsdottir, H. R. (2003). « Music reading errors of young piano students ». *Dissertation Abstracts International*, 65 (02) : 447A. (UMI No. NQ88481)
39. Gunter, T. C., Schmidt, B. h., et Besson, M. (2003). « Let's face the music: A behavioral and electrophysiological exploration of score reading ». *Psychophysiology*, 40 (5) : 742-751.
40. Hahn, L. B. (1985). « Correlations between reading music and reading language, with implications for music instruction (notation) ». Doctoral dissertation in musical arts, Faculty of the School of Music, The University of Arizona, Tucson, Arizona, USA.
41. Lehman, A. C., et Ericsson, K. A. (1993). « Sight-reading ability of expert pianists in the context of piano accompanying ». *Psychomusicology*, 12 (2) : 182-195.
42. Lehmann, A. C., et Ericsson, K. A. (1996). « Performance without preparation: Structure and acquisition of expert sight-reading and accompanying performance ». *Psychomusicology*, 15 (1-2) : 1-29.

43. Lehmann, A., et McArthur, V. (2002). « Sight-reading ». In Parncutt, R., et McPherson, G. E. (Eds.), *The science and psychology of music performance: Creative strategies for teaching and learning*. Oxford : Oxford University Press.
44. Sergent, J., Zuck, E., Terriah, S., et Macdonald, B. (1992). « Distributed neural network underlying musical sight-reading and keyboard performance ». *Science*, 257 : 106-108.
45. Whitlock, M. N. (2002). « The application of music learning theory concepts to a notation-based piano method ». *Dissertation Abstracts International*. (UMI No. 8525597)
46. Drake, C., et Palmer, C. (2000). « Skill acquisition in music performance: relations between planning and temporal control ». *Cognition*, 74 : 1-32.
47. Palmer, C. (1997). « Music performance ». *Annual Review of Psychology*, 48 : 115-138.
48. Repp, B. H. (1992). « Probing the cognitive representation of musical time: Structural constraints on the perception of timing perturbations ». *Cognition*, 44 : 241-281.
49. Wilson, F. R. et Roehmann, F. L. (1992). « The study of biomechanical and physiological processes in relation to musical performance ». In R. Colwell (Ed.), *Handbook of research on music teaching and learning*, p. 509-524. New York : Schirmer.
50. Repp, B. H. (1994). « Musical motion: Some historical and contemporary perspectives ». In A. Friberg, J. Iwarsson, E. Jansson, and J. Sundberg (Éd.), *Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference, July 1993*, p. 128-135. Stockholm : Publications issued by the Royal Swedish Academy of Music, No. 79.
51. Repp, B. H. (1994). « Relational invariance of expressive microstructure across global tempo changes in music performance: An exploratory study ». *Psychological Research*, 56 : 269-284.
52. Wade, M. G. (1990). « Motor skills and the making of music ». In F. R. Wilson et F. L. Roehmann (Eds.), *Music and child development: Proceedings of the 1987 Denver Conference*, p. 157-178. St. Louis, MO : MMB Music.
53. Repp, R. H. (1992). « A constraint on the expressive timing of a melodic gesture: Evidence from performance and aesthetic judgment ». *Music Perception*, 10 : 221-241.

54. Schenker, H. (2000). *The Art of Performance*. New York : Oxford University Press.
55. Jones, M.R. et S. Holleran (Ed.) (1992). *Cognitive Bases of Musical Communication*. Washington : American Psychological Association.
56. Clarke, E.F. (1993). « Generativity, mimesis and the human body in music performance ». *Contemporary Music Review*, 9 : 207-219.
57. Clarke, E. F. (1993). « Imitating and evaluating real and transformed musical performances ». *Music Perception*, 10 : 317-341.
58. Todd, N. (1992). « The dynamics of dynamics: A model of musical expression ». *Journal of the Acoustical Society of America*, 91 : 3540-3550.
59. Clarke, E. F. (1991). « Expression and communication in musical performance ». In J. Sundberg, L. Nord, et R. Carlson (Eds.), *Music, language, speech and brain*, p. 184-193. London : MacMillan Press.
60. Palmer, C. (1992). « The role of interpretive preferences in music performance ». In M.R. Jones et S. Holleran (Eds.), *Cognitive bases of musical communication*, p. 249-262. Washington, DC : American Psychological Association.
61. Todd, N. (1989). « Towards a cognitive theory of expression: The performance and perception of rubato ». *Contemporary Music Review*, 4 : 405-416.
62. Agay, D. (Ed.) (1981). *Teaching piano: A comprehensive guide and reference book for the instructor*. New York : Yorktown Music Press.
63. Baker-Jordan, M. (2004). *Practical piano pedagogy: the definitive text for piano teachers and pedagogy students*. Miami, FL : Warner Bros.
64. Clark, F. et Goss, L. (2000). *The Music Tree: A Plan for Musical Growth at the Piano: [Level 1]*. Miami, FL : Summy-Birchard Music.
65. Jaëll, M. « Lettre non datée de Marie Jaëll à Goss Berlepsch ». Dans L. Hurpeau (Dir.), *Marie Jaëll, un cerveau de philosophe et des doigts d'artiste*, p. 25. Lyon : Symétrie.
66. Jaëll, M. (1896). *La musique et la psychophysiologie*. Paris : Félix Alcan (p. 1).
67. Sloboda, J. (2005). *Exploring the Musical Mind*. New York : Oxford University Press (p. 175).

L'ÉLABORATION D'UNE ÉCHELLE POUR MESURER LA MOTIVATION CHEZ LES JEUNES ÉLÈVES EN PIANO*

Alain Desrochers, Gilles Comeau, Nisreen Jardaneh
Université d'Ottawa

Isabelle Green-Demers
Université du Québec en Outaouais

Résumé

Nous décrivons, étape par étape, l'élaboration d'une échelle pour mesurer la motivation chez les jeunes élèves en piano. Les étapes principales de cette démarche comprennent l'encadrement théorique, le choix d'une échelle de mesure, la formulation des consignes et des items motivationnels, la mise à l'épreuve de l'instrument de mesure, l'analyse des données, la révision de l'échelle et l'examen de sa validité. Nous discutons et nous illustrons chacune de ces étapes à l'aide de données réelles provenant d'une recherche réalisée au Laboratoire de recherche en pédagogie du piano de l'Université d'Ottawa. Enfin, nous abordons la question de l'utilité d'une telle échelle de motivation musicale.

Abstract

We provide a description of the various steps involved in the development of a scale to measure the degree of motivation of young piano students. The main steps include the theoretical framing of motivation, choice of a measurement scale, formulation of instructions and motivational items, data collection and analysis, revision of the instrument, and the analysis of its validity. We discuss and illustrate each of these steps with real data drawn from a study carried out at the Piano Pedagogy Research Laboratory at the University of Ottawa. Finally, we address the usefulness of such a measure of musical motivation.

* Cette recherche a été rendue possible grâce à un appui financier de la Faculté des sciences sociales de l'Université d'Ottawa et de la Fondation canadienne pour l'innovation. Nous remercions Jaclynne Smith et Emily Gale pour leur contribution à la collecte des données.
Toute correspondance relative à cet article devrait être envoyée à Alain Desrochers, École de psychologie, Université d'Ottawa, Ontario, Canada K1N 6N5 ; courriel : Alain.Desrochers@uottawa.ca.

L'ÉLABORATION D'UNE ÉCHELLE POUR MESURER LA MOTIVATION CHEZ LES JEUNES ÉLÈVES EN PIANO

Plusieurs indices donnent à penser que le piano constitue l'instrument de prédilection chez les apprentis musiciens. Babin (2005) rapporte, notamment, que 85% des membres de l'Association des professeurs de musique de l'Ontario, pour la région d'Ottawa, enseignent le piano. Elle note également que 85% des élèves inscrits aux examens du Conservatoire royal de musique de Toronto le sont dans la catégorie « piano ». La prévalence du piano est également observée dans les enquêtes menées depuis 1970 pour évaluer l'impact des politiques sociales sur la démocratisation de la culture et la participation culturelle des citoyens (Donnat, 1996 ; Pronovost, 2002). En ciblant les jeunes élèves en piano dans la présente recherche, nous nous trouvons donc à rassembler le contingent le plus important des élèves qui s'adonnent à l'apprentissage d'un instrument de musique.

Les élèves qui se présentent aux examens des conservatoires représentent vraisemblablement un faible pourcentage de ceux qui entreprennent l'étude du piano. Sloboda et Howe (1991) affirment, sans toutefois fournir d'estimation précise, qu'un pourcentage élevé des jeunes élèves qui entreprennent l'étude du piano abandonne cette activité dans les 18 mois suivant leurs premières leçons, donc avant d'atteindre une maîtrise même modeste de leur instrument. D'autres persévèrent plus longtemps, mais une minorité seulement réussit à atteindre un niveau élevé de compétence musicale. Pour arriver à maîtriser leur instrument, les élèves doivent s'astreindre à des séances de travail¹ régulières et qui peuvent s'étendre sur plusieurs années. Ces séances permettent aux élèves de faire des gains continus dans leur apprentissage de l'instrument et de les maintenir (Hallam, 1998 ; Sloboda, Davidson, How et Moore, 1996). Ericsson, Krampe et Tesch-Romer (1993) notent que les séances de travail réellement utiles à l'apprentissage de l'instrument sont celles qui sont structurées et qui exigent un effort soutenu. Elles se démarquent du jeu informel, pour le plaisir personnel. Ces auteurs soutiennent qu'une séance de travail « is a highly structured activity, the explicit goal of which is to improve performance. Specific tasks are invented to overcome weaknesses, and performance is carefully monitored to provide cues for ways to improve it further. We claim that deliberate practice requires effort and is not inherently enjoyable. Individuals are motivated to practice because practice improves performance » (p. 10 ; voir aussi Lehmann et Ericsson, 1997). L'engagement à s'astreindre à de véritables séances de travail s'appuie donc sur plusieurs conditions, qui ne sont pas nécessairement satisfaites chez l'élève débutant.

1 Nous utilisons l'expression « séance de travail au piano » pour communiquer la même signification que la locution anglaise « piano practice ». Cette expression désigne l'ensemble des activités de travail au piano : la répétition des pièces, les exercices techniques, les gammes, les exercices de lecture à vue, etc. Bien que le terme « pratique » soit parfois utilisé au sens du terme anglais « practice », surtout dans la langue parlée, son usage est jugé fautif dans le *Multidictionnaire de la langue française* (De Villers, 2003) et dans les ouvrages sur les pièges de la langue française (p. ex. : Chouinard, 2004 ; Laurin, 2001).

L'apprentissage d'un instrument de musique est associé à des croyances et à des mécanismes de régulation personnelle qui devront subir des ajustements progressifs pour assurer la persévérance. D'entrée de jeu, la décision ou l'incitation à amorcer l'étude d'un instrument de musique revient typiquement aux parents de l'élève (Donnat, 1996). Initialement, la motivation du jeune élève est surtout soutenue par les parents et la nouveauté de l'activité (Davidson, Howe et Sloboda, 1995). Ultérieurement, l'élève pourra trouver des points d'appui plus solides pour maintenir son engagement. Les changements personnels qu'entraîne l'apprentissage d'un instrument de musique sont encore mal connus, mais on note un thème récurrent dans les travaux de recherche actuels : le jeune élève doit apprendre à s'autoréguler (McPherson et McCormick, 2000 ; Renwick et McPherson, 2002). Pour y arriver, l'élève doit d'abord croire qu'il a la capacité de se donner une ligne de conduite pour atteindre ses objectifs. Bandura (2002) donne à cette croyance le nom de *sentiment d'efficacité personnelle* ou *auto-efficacité* (en anglais, *self-efficacy*). La construction de cette croyance est influencée par, au moins, quatre facteurs : a) l'expérience de la maîtrise, b) l'expérience vicariante de la comparaison avec les autres, c) la rétroaction sociale (p. ex. : une évaluation du professeur ou d'un juge lors d'un récital) et d) les états physiologiques et affectifs de l'élève (p. ex. : les manifestations physiologiques du sentiment de réussite ou d'échec). Dans le cours normal de l'apprentissage, la pratique de l'instrument conduit à une compétence accrue, à l'expérience de maîtrise qui lui est associée, à une confirmation du niveau d'habileté par le professeur ou par le milieu. La majorité des élèves apprennent rapidement à attribuer leur réussite en musique à leurs propres habiletés et aux efforts qu'ils déploient (Legette, 1998) et le sentiment d'efficacité personnelle semble se former relativement tôt dans le cours de l'apprentissage et demeurer stable par la suite (O'Neill et Sloboda, 1997 ; Davidson et Borthwick, 2002). Selon Pintrich et Schunk (1996), le niveau optimal du sentiment d'auto-efficacité serait même associé à une légère surévaluation des compétences réelles. Les élèves qui manifestent un sentiment d'auto-efficacité élevé dans un domaine d'activité particulier tendent à relever des défis plus importants, à déployer plus d'effort, à persister plus longtemps vers l'atteinte d'un objectif et à mieux contrôler leur anxiété ou leur trac devant la perspective de jouer en public (Bandura, 1986 ; Pajares, 1996 ; Zimmerman, 2000).

L'auto-efficacité est également associée à la mise en œuvre de deux types de stratégies dans l'apprentissage d'un instrument de musique. Le premier type se rapporte à la gestion de l'activité elle-même. McPherson et McCormick (1999) montrent que les élèves en piano (âgés de 9 à 18 ans) qui s'investissent dans leurs séances de travail réussissent mieux à structurer leurs activités d'apprentissage et à hausser leur efficacité. Par exemple, ils consacrent plus de temps à la répétition des pièces plus difficiles ou à des segments de pièces qu'ils maîtrisent moins bien. Ils sont plus portés à s'engager dans la répétition mentale d'une pièce et à évaluer, sur une base continue, le résultat de leurs efforts (voir aussi Hallam, 1998 ; O'Neill, 1997 ; Williamon et Valentine, 2000). L'auto-efficacité semble donc se manifester autant sur le plan de la quantité que de la qualité du travail

effectué par l'élève. McCormick et McPherson (2003) montrent aussi que l'auto-efficacité est directement liée à la mise en œuvre de stratégies de gestion du travail à l'instrument (p. ex. : répartition du temps entre l'échauffement, les pièces, les gammes et les arpèges, la lecture à vue) et au niveau de performance atteint lors d'un examen formel.

Le deuxième type de stratégies associées à l'auto-efficacité se rapporte à l'autorégulation de la motivation de l'élève. Cette motivation peut être assortie de plusieurs points d'appui différents. Par exemple, l'activité même de jouer d'un instrument de musique peut présenter un intérêt intrinsèque. L'idée de jouer d'un instrument de musique peut faire partie intégrante de la conception que l'élève se fait de lui-même (p. ex. : *Je suis musicien*). Lorsque l'élève ne trouve dans la pratique d'un instrument de musique aucun intérêt ni aucune satisfaction, il arrive que des contingences externes (p. ex. : la pression des parents, le désir de leur faire plaisir, des récompenses matérielles) puissent offrir des points d'appui suffisants à l'apprentissage. Lorsque les contingences externes deviennent internalisées, la motivation de l'élève peut être assurée par la fierté d'avoir fait une bonne séance de travail ou par le sentiment de culpabilité consécutif à la négligence dans son travail. Cela dit, le renforcement le plus efficace de la motivation passe généralement par une intégration progressive de la musique et de la pratique de l'instrument à l'identité personnelle de l'élève, à son système de valeurs et à son mode de vie.

Nous avons évoqué plusieurs déterminants de l'apprentissage d'un instrument de musique tels l'auto-efficacité, l'autorégulation des activités d'apprentissage et l'autorégulation de la motivation. Pour démontrer l'utilité de ces concepts et leur rôle réel dans l'apprentissage, on doit les projeter sur des échelles de mesure. Dans la présente recherche, nous avons choisi de nous concentrer sur l'autorégulation de la motivation et, plus spécifiquement, sur l'élaboration d'une échelle pour mesurer la motivation chez les jeunes élèves en piano.

L'ÉLABORATION D'UNE ÉCHELLE DE MESURE DE LA MOTIVATION

Plusieurs opérations interviennent dans l'élaboration d'une échelle de mesure de la motivation. On doit d'abord inscrire le concept central dans un cadre théorique et mettre en relief ses facettes constitutives. Une fois ce cadre établi, nous pouvons procéder à l'élaboration du contenu de l'échelle. Les collectes de données à l'aide de cette échelle permettent d'estimer ses propriétés métriques et de vérifier sa relation à d'autres mesures. Dans ce qui suit, nous discutons et illustrons concrètement chacune de ces opérations.

L'encadrement théorique

Le cadre théorique proposé par Deci et Ryan (1985 ; 2000 ; 2002) s'arrime particulièrement bien avec la notion d'autorégulation introduite plus haut. Nous évoquons explicitement la possibilité que les activités d'apprentissage de l'élève soient soutenues par

une variété de motifs. Ces motifs sont dits *intrinsèques* lorsque l'activité en soi lui paraît intéressante et signifiante et lorsqu'il a l'impression de s'y engager de son propre gré, en l'absence de toute pression externe. Deci et Ryan diront alors que la motivation qui l'anime est autodéterminée et qu'elle est en accord avec la satisfaction de ses besoins fondamentaux tels que le besoin d'autonomie, de compétence et d'harmonie dans ses relations avec les autres. Par contre, ces motifs sont dits *extrinsèques* lorsque l'élève se sent poussé à s'engager dans une activité par des pressions externes. Par exemple, il peut s'agir d'une récompense qui n'a rien à voir avec l'activité elle-même (p. ex. : une récompense monétaire lorsqu'il fait son travail au piano) ou d'une punition (p. ex. : priver l'élève d'un privilège lorsqu'il ne fait pas son travail). Deci et Ryan réservent le terme *amotivation* pour désigner l'absence de motif à s'engager dans une activité.

Les motifs extrinsèques et intrinsèques renvoient à des mécanismes de régulation distincts du comportement, alors que l'amotivation se caractérise par l'inaction des mécanismes de régulation. La motivation intrinsèque s'appuie principalement sur les besoins psychologiques fondamentaux de l'être humain tels que le désir de se sentir autonome, compétent et en harmonie avec les autres. Par contre, la motivation extrinsèque s'appuie sur une forme de contrôle externe. Deci et Ryan ont proposé une différenciation plus fine des mécanismes de régulation externe qui contrôlent la motivation extrinsèque. Cette différenciation vise, notamment, à rendre compte du développement de la motivation intrinsèque en faisant appel aux notions d'internalisation et d'intégration. L'internalisation fait spécifiquement référence à une transformation des formes de régulation qui agissent sur le comportement, de la régulation externe à la régulation interne. L'intégration renvoie au processus par lequel la régulation internalisée devient une caractéristique définissante de notre identité personnelle et de notre système de valeurs.

L'internalisation étant un processus continu, on admet donc des stades de développement caractérisés par des formes de régulation mixtes. Deci et Ryan distinguent quatre types de régulation extrinsèque ordonnés sur un continuum d'autonomie relative (voir figure 1, d'après Ryan et Deci, 2002, p. 16). Tout bonnement, on appelle la forme de régulation la plus externalisée *régulation externe*. Dans ce cas, nos actions sont contrôlées uniquement par leurs conséquences, qu'elles soient positives (p. ex. : une récompense) ou négatives (p. ex. : une punition). La *régulation introjectée* adjoint à la régulation externe une projection prospective ; nos actions sont alors contrôlées par la représentation que nous nous faisons de leurs conséquences et par l'émotion susceptible d'être ressentie (p. ex., la fierté, la culpabilité, la honte). Il s'agit là d'une forme d'internalisation parce que le comportement est, dans ce cas, sous le contrôle de l'anticipation de l'émotion associée à sa conséquence (p. ex. : la fierté d'avoir bien exécuté une pièce après l'avoir pratiquée) plutôt qu'à sa manifestation ponctuelle. La *régulation identifiée* est caractérisée par la reconnaissance de la valeur instrumentale d'un comportement (p. ex. : reconnaître la valeur de pratiquer un instrument de musique pour améliorer sa dextérité). La *régulation intégrée* constitue la forme la plus autodéterminée de la motivation extrinsèque. Elle se démarque

par l'intégration d'une valeur identifiée et du mécanisme de régulation qui lui est associé à notre identité personnelle et notre système de valeurs. L'achèvement de cette internalisation facilite la résolution des conflits ou d'incohérences dans la construction de l'identité personnelle ou du système de valeurs (p. ex. : le désir d'exceller en musique *et* dans une activité sportive).

Type de motivation	Amotivation	Motivation extrinsèque				Motivation intrinsèque
Type de régulation	Aucune régulation	Régulation externe	Régulation introjectée	Régulation identifiée	Régulation intégrée	Régulation intrinsèque

FIGURE 1. Représentation schématique des types de motivation et de régulation proposés par Deci et Ryan

La motivation intrinsèque se différencie de la motivation extrinsèque par l'absence d'incitatif externe et par l'intérêt même que suscite l'activité dans laquelle nous nous engageons. Cet intérêt peut prendre plusieurs formes (voir Pelletier et al., 1995 ; Standage, Duda et Ntroumanis, 2003). Par exemple, il peut résider dans l'expérience sensorielle ou esthétique associée à l'activité (p. ex. : la sonorité du piano, la sensation tactile du jeu pianistique), dans l'accroissement des connaissances (p. ex. : le développement de la lecture musicale) ou dans le sentiment d'accomplissement (p. ex. : la maîtrise d'une pièce difficile). Deci et Ryan (2000) avancent l'idée que le milieu favorise la motivation intrinsèque lorsqu'il facilite la satisfaction des besoins psychologiques fondamentaux.

Les formes de motivation que nous venons de différencier ont été validées dans une variété de contextes tels ceux de l'éducation (Cokley, 2000 ; Vallerand, Blais, Brière et Pelletier, 1989), du monde du travail (Deci, Ryan, Gagné et Leone, 2001), des activités sportives (Pelletier et al., 1995) et des comportements liés à la prévention des troubles de santé (Sheldon, Williams, Joier, 2003). Un des résultats récurrents dans ces études est que les formes de motivation plus autodéterminées (c'est-à-dire intrinsèque, intégrée, identifiée) sont typiquement associées à des attitudes positives, des émotions agréables et des comportements constructifs. Inversement, aux formes non autodéterminées de la motivation (c'est-à-dire introjectée, externe ou l'amotivation) sont associées des attitudes négatives, des émotions désagréables et des comportements peu constructifs ou destructeurs.

Une échelle pour mesurer la motivation

L'idée de quantifier la motivation humaine s'inscrit dans une tradition docimologique qui remonte au 19^e siècle alors que les chercheurs tentaient de mesurer l'intensité des impressions subjectives consécutives aux stimulations sensorielles ou l'intensité des

émotions (Baird et Noma, 1978). Un pas décisif est franchi lorsque Thurstone (1928) démontre qu'on peut obtenir une mesure ordonnée et fiable d'un concept aussi subjectif que l'attitude d'un individu à l'endroit d'un objet social (p. ex. : la religion). Peu après, Likert (1932) propose une méthode similaire. Il présente aux répondants des énoncés qui expriment une attitude favorable ou défavorable à l'endroit d'un objet social et il leur demande d'indiquer la mesure dans laquelle ils sont en accord ou en désaccord avec chacun de ces énoncés. L'échelle de mesure originale comprend cinq points associés à des étiquettes verbales : « Fortement en désaccord », « En désaccord », « Ni en accord ni en désaccord », « En accord » et « Fortement en accord ». Osgood (1952) apporte une modification à l'échelle de Likert et lui trouve une application nouvelle dans la quantification de la signification des mots. Il présente des mots à ses répondants et il leur demande de les évaluer sur des échelles en sept points, qu'il appelle différenciateurs sémantiques, dont on ne fournit que les pôles (p. ex. : faible-fort, rude-doux, actif-passif, bon-mauvais) et le gradient des valeurs numériques de 1 à 7. Cette variante de l'échelle de Likert est couramment utilisée dans la quantification des états subjectifs. Avant de décrire son application concrète à l'évaluation de la motivation, il nous semble important de faire un bref retour sur quelques-unes de ses particularités techniques.

L'échelle originale de Likert et la variante d'Osgood sont bipolaires ; elles permettent de mesurer des réponses soit positives soit négatives à l'endroit d'un stimulus. Strictement parlant, ce sont des échelles ordinales. Les valeurs de ces échelles permettent de reconstituer l'ordre des réponses sur une dimension particulière (p. ex. : la motivation), mais elles ne représentent pas nécessairement la distance ou l'intervalle entre les catégories de réponses. En pratique, ces échelles sont utilisées comme si elles représentaient des intervalles fixes. On peut alors utiliser les scores fournis par les répondants pour calculer des statistiques descriptives (p. ex. : le score moyen, l'écart type) et leur appliquer des méthodes quantitatives ordinairement réservées aux données issues d'échelles à intervalles fixes. Plusieurs justifications ont été avancées pour défendre cette pratique, même si elle ne fait pas l'objet d'un consensus absolu (voir Wilson, 1971). Par exemple, on a avancé l'argument que les déviations aux propriétés strictes de l'échelle à intervalles fixes n'affectent pas significativement le risque d'une erreur d'inférence statistique (de première ou de deuxième espèce) ni la stabilité des estimations statistiques telles que le coefficient de corrélation (Binder, 1984 ; Jaccard et Wan, 1996 ; Kim, 1975 ; Zumbo et Zimmerman, 1993). Dans la présente recherche, nous nous rallions aux chercheurs qui traitent l'échelle de Likert et le différenciateur sémantique comme des échelles continues.

L'élaboration d'une variante de l'échelle de Likert pour mesurer la motivation chez les élèves en piano nécessite deux opérations : celle de préciser les modalités de l'échelle de mesure et celle d'élaborer les items sur lesquels les répondants seront invités à se prononcer. Il nous a semblé que l'échelle en sept points pouvait paraître bien abstraite pour de jeunes enfants. Nous avons donc choisi de lui donner un cadre de référence concret en associant chaque quantité à une barre verticale dont la hauteur augmente linéairement avec

la valeur numérique sur l'échelle (voir figure 2). La hauteur des barres est donc mise en relation biunivoque avec la mesure dans laquelle le répondant endosse l'item qui lui est associé : mieux l'item le décrit, plus la barre choisie doit être haute.

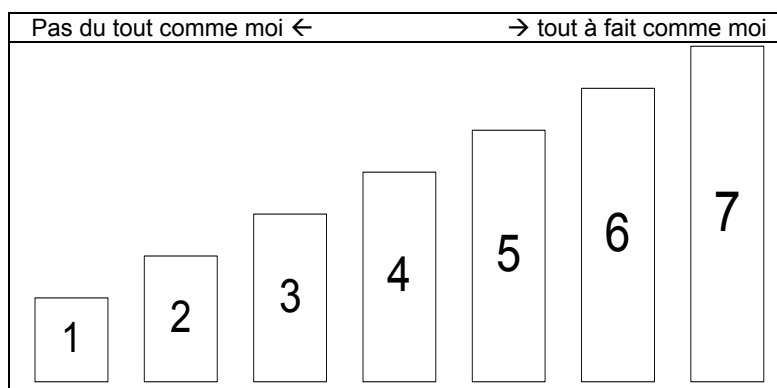


FIGURE 2. Échelle en sept points à l'intention des enfants

En accord avec l'ensemble des travaux sur la motivation, nous avons fait graviter les items autour des raisons pour lesquelles l'élève s'engage dans une activité musicale. L'activité que nous avons ciblée est celle « d'apprendre à jouer du piano ». Nous avons la possibilité de cibler une activité plus spécifique (p. ex. : travailler au piano, participer à des récitals). Nous avons fait le choix de placer une activité plus englobante au centre de l'instrument de mesure. Par conséquent, toutes les raisons sur lesquelles le répondant est appelé à se prononcer sont relatives à l'idée d'apprendre à jouer du piano. Deux sources d'informations ont été prises en compte dans la formulation de ces raisons. D'abord, nous avons mené des entretiens auprès d'élèves en piano, de parents d'élèves en piano et de professeurs de piano. Nous leur avons demandé de nous donner leur avis sur les raisons pour lesquelles les enfants s'inscrivent à des leçons de piano, ce que les enfants trouvent intéressant ou ennuyeux, les facteurs qui conduisent un élève à abandonner l'étude du piano et sur d'autres sujets connexes. Puis, nous avons tenté d'harmoniser les observations de ces répondants avec les concepts issus du modèle de Deci et Ryan (2000). Cet exercice nous a conduits à formuler six groupes d'énoncés visant à représenter les trois états motivationnels décrits plus haut (l'amotivation, la motivation extrinsèque et la motivation intrinsèque) ainsi que les quatre types de régulation propres à la motivation extrinsèque. Ces énoncés ont d'abord été formulés en anglais. Nous en présentons des exemples en traduction française dans le tableau 1. Le questionnaire que nous avons élaboré à l'intention des enfants comprend 60 énoncés, 10 par type de motivation, et ces énoncés sont présentés en ordre aléatoire aux répondants.

TABLEAU 1. Exemples d'items de l'échelle de motivation

État motivationnel	Type de régulation	Exemples d'items
		J'apprends à jouer du piano ...
Amotivation	Aucun	... mais je ne sais pourquoi je fais cela
		... mais je crois que je perds mon temps
		... mais je ne suis pas intéressé à pratiquer
Extrinsèque	Externe	... parce que mes parents me forcent à le faire
		... parce qu'on me félicite quand je joue
	Introjectée	... parce que je me sens fier de pouvoir jouer
		... parce que j'aurais honte si j'abandonnais l'étude du piano
Identifiée	Identifiée	... parce que cette activité m'aide à l'école
		... parce que cette activité m'aide à atteindre mes objectifs personnels
	Intégrée	... parce que la musique est importante dans ma vie
Intrinsèque	Intégrée	... parce que je veux devenir musicien
		... parce que j'adore jouer du piano
		... parce que j'aime le son du piano
		... parce que j'aime apprendre de nouvelles pièces au piano

La mise à l'épreuve de l'échelle

Nous avons recruté 50 élèves en piano, âgés de 7 à 15 ans, dans la région de la capitale nationale canadienne (Ottawa) ou du camp musical Studea Musica qui se tenait au Centre d'arts Orford (Canton d'Orford, Québec) en août 2005. Nous leur avons demandé de répondre au questionnaire sur la motivation à apprendre à jouer du piano. Cette collecte de données avait pour but de vérifier la clarté des items de motivation, la convivialité de l'échelle de mesure pour les enfants, la cohérence interne des groupes d'énoncé, la relation attendue entre ces groupes d'énoncés, les différentes formes de motivation et l'intérêt pour les activités musicales. Pour mesurer l'intérêt à l'endroit des activités musicales, nous avons présenté aux élèves 22 activités liées à la musique (p. ex. : faire des gammes,

compter à voix haute en jouant, répéter une pièce au ralenti, apprendre une nouvelle pièce, jouer en duo) et nous leur avons demandé d'évaluer l'intérêt suscité par chaque activité à l'aide d'une échelle en sept points (de « Pas intéressante du tout » à « Très intéressante ») similaire à celle présentée à la figure 2.

RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES

Nous rapportons ici les résultats préliminaires issus de la mise à l'épreuve de l'échelle de motivation. Ces résultats sont présentés en trois parties. Premièrement, nous rapportons quelques statistiques descriptives relatives à chaque groupe d'énoncés de motivation (le score moyen et l'erreur type). Deuxièmement, nous examinons la cohérence interne de chaque groupe d'énoncés. Enfin, nous explorons les relations entre les groupes d'énoncés et l'intérêt exprimé à l'endroit des activités musicales.

Statistiques descriptives

L'examen des statistiques descriptives relatives à chaque groupe d'énoncés permet d'évaluer le risque que le niveau d'endossement d'un ou plusieurs de ces groupes soit excessivement polarisé dans l'échantillon de répondants. Le premier indice de polarisation réside dans le calcul du score moyen obtenu pour chaque groupe d'items. Ce score est présenté au tableau 2.

TABLEAU 2. Le score minimum, maximum et moyen, l'écart-type et l'indice de cohérence interne de Cronbach pour les sous-échelles de motivation et d'intérêt pour la musique

Échelle	Score minimum	Score maximum	Score moyen	Écart type	Indice de Cronbach
Amotivation	1.0	5.25	2.15	1.02	0.80
Externe	1.0	4.88	2.50	1.00	0.65
Introjectée	1.88	6.50	4.42	0.96	0.61
Identifiée	1.13	7.0	4.94	1.30	0.84
Intégrée	1.0	6.88	4.67	1.40	0.86
Intrinsèque	1.0	7.0	5.57	1.24	0.89
Intérêt	1.33	6.86	4.84	1.18	0.91

Les scores moyens varient entre 2.15 et 5.57 pour différents groupes d'énoncés. La plupart de ces scores se trouvent dans le voisinage du score médian de l'échelle en sept points (c'est-à-dire 4). Ce résultat indique que les scores ne sont pas excessivement polarisés sur ces échelles et qu'ils présentent une bonne marge de variation vers le haut et vers le bas. Par ailleurs, l'écart type, qui se trouve dans le voisinage de 1.0, montre que la variabilité des scores est très similaire entre les groupes d'énoncés.

Cohérence interne

L'indice de Cronbach (1951) sert à évaluer la cohérence interne de chaque groupe d'énoncés. Lorsque cet indice est égal ou supérieur à .80, on estime que la cohérence interne des énoncés est satisfaisante. Cela signifie que les énoncés forment un tout homogène et varient dans la même direction. Si un répondant endosse un de ces énoncés fortement, il tendra à endosser les autres énoncés du même groupe fortement. Par contre, s'il endosse un énoncé faiblement, il tendra à endosser les autres énoncés du même groupe faiblement. Les résultats présentés au Tableau 2 indiquent clairement que tous les groupes d'énoncés, à deux exceptions près, ont une cohérence interne satisfaisante. Les deux exceptions sont les sous-échelles de motivation externe et introjectée. Des indices de cohérence interne inférieurs à .80 ont également été rapportés par d'autres chercheurs pour la régulation externe (Chantal et Vallerand, 2000, étude 3 ; Pelletier, Green-Demers et Béland, 1997 ; Vallerand, Blais, Brière et Pelletier, 1989 ; Vallerand et al., 1993 ; Vallerand et Bissonnette, 1992) et pour la régulation introjectée (Blanchard, Vallerand et Brière, 2001 ; Brière, Vallerand, Blais et Pelletier, 1995, étude 2 ; Vallerand et Bissonnette, 1992).

Plusieurs facteurs peuvent réduire l'homogénéité des items : la taille réduite d'un échantillon de répondants, la présence de mots difficiles à comprendre ou inconnus des répondants, des items qui se prêtent à différentes interprétations sémantiques ou des items qui renvoient effectivement à des concepts différents. La rigueur dans la formulation des items peut réduire considérablement le risque d'une cohérence interne insuffisante, mais elle n'offre aucune garantie. Le diagnostic ultime provient de la mise à l'épreuve des sous-échelles. Les résultats relatifs à la cohérence interne indiquent clairement que des améliorations peuvent être apportées à la formulation des énoncés qui représentent la régulation externe et introjectée.

La relation entre les sous-échelles de motivation et d'intérêt

Les enfants peu motivés par l'apprentissage du piano sont susceptibles de subir des pressions de leurs parents, lorsque ceux-ci souhaitent vivement leur faire transmettre une éducation musicale. On s'attend alors à ce que les réponses aux items d'amotivation et de motivation externe soient positivement et fortement corrélées. Comme les régulations introjectée, identifiée et intégrée renvoient à des formes de motivation de plus en plus

internalisées, on peut prévoir que leur endossement sera négativement corrélé avec l'amotivation et la motivation externe. Le modèle de l'auto-détermination de Deci et Ryan conduit aussi à l'hypothèse que la motivation intrinsèque devrait être négativement corrélée avec l'amotivation et la motivation externe. Tous ces patrons de résultats sont observés dans le tableau 3 et ils sont conformes aux attentes dérivées du modèle théorique.

TABLEAU 3. Coefficients de corrélation Bravais-Pearson entre les échelles de motivation et d'intérêt

Échelle	1	2	3	4	5	6
1. Amotivation						
2. Externe	.68**					
3. Introjectée	-.19	-.08				
4. Identifiée	-.34*	-.20	.67**			
5. Intégrée	-.42**	-.36*	.64**	.72**		
6. Intrinsèque	-.40**	-.41**	.61**	.59**	.70**	
7. Intérêt	-.60**	-.45**	.48**	.51**	.66**	.79**

Note : Les symboles * et ** signifient que les coefficients sont statistiquement significatifs avec une valeur de p de .05 et de .01, respectivement.

Outre ce patron d'interrelations, on s'attend d'une échelle de motivation qu'elle soit en accord avec les intérêts et les comportements du répondant. A ce stade de notre programme de recherche, nous nous sommes limités à l'étude des intérêts. Nous avons obtenu un score composite de la motivation non autodéterminée en calculant la moyenne des scores associés à l'amotivation et à la motivation externe. De la même façon, nous avons obtenu un score composite de la motivation autodéterminée en calculant la moyenne des scores associés aux formes de motivation identifiée, intégrée et intrinsèque. Puis, nous avons mis ces scores composites en rapport avec l'intérêt exprimé à l'endroit des activités musicales. La figure 3 montre clairement que le niveau d'intérêt varie positivement avec la motivation autodéterminée (panneau à gauche) : plus l'endossement des énoncés autodéterminés est élevé, plus l'intérêt exprimé est élevé ($r = .75, p < .0001$). Par contre, l'intérêt et la motivation non autodéterminée (panneau à droite) ont une relation inverse : plus l'endossement des énoncés non autodéterminés est élevé, moins l'intérêt exprimé est élevé ($r = -.70, p < .0001$). Si ces relations paraissent intuitivement évidentes, leur démonstration empirique est essentielle à la validation de l'échelle de mesure.

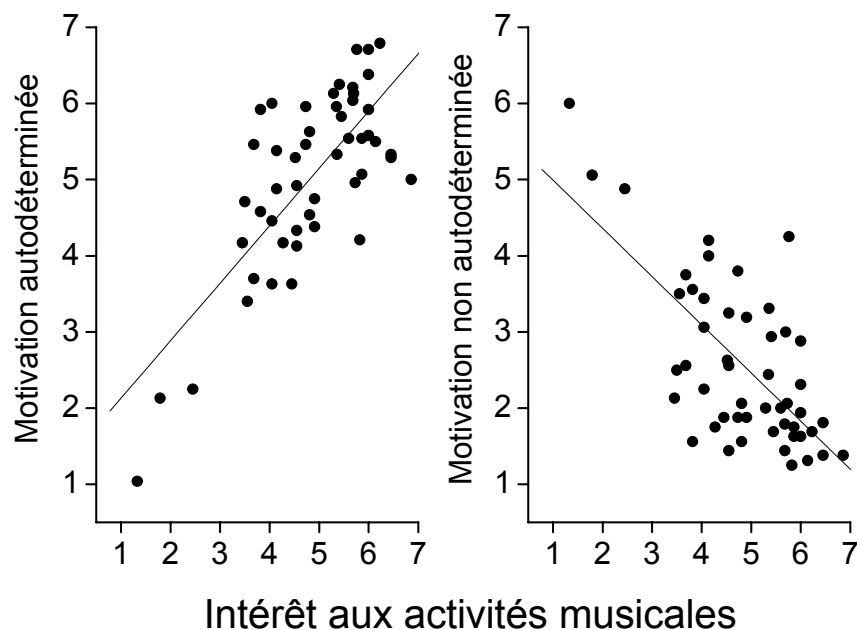


FIGURE 3. Relation entre la motivation autodéterminée, la motivation non autodéterminée et le niveau d'intérêt aux activités musicales

En somme, les résultats préliminaires que nous rapportons ici indiquent que les sous-échelles de l'instrument de mesure sont globalement en accord avec le modèle théorique dont elles sont issues. Tel que prévu, l'amotivation et la motivation externe s'opposent nettement aux formes de motivation plus internalisées ou intrinsèque à l'activité. De plus, leur relation à l'intérêt suscité par les activités musicales est positive dans le cas des formes plus autodéterminées de la motivation et négative dans le cas des formes non autodéterminées de la motivation. Les résultats relatifs à la cohérence interne mettent également en relief la difficulté de cerner les facettes des formes de motivation externe et introjectée. Une réévaluation attentive de l'instrument pourra conduire à la reformulation de certains items de l'échelle et à l'amélioration de ses propriétés métriques.

L'UTILITÉ D'UNE ÉCHELLE DE MOTIVATION EN ÉDUCATION MUSICALE

Une échelle de motivation musicale peut servir à assurer au moins trois fonctions : prédire les gains effectués au cours de l'apprentissage et le niveau de performance atteint par l'élève, étudier la trajectoire de croissance ou de décroissance de la motivation au fil de

l'apprentissage et évaluer l'effet du milieu sur la motivation de l'élève. Nous discutons brièvement chacune de ces trois fonctions.

L'évaluation de la valeur prédictive d'une variable, telle que la motivation, fournit des renseignements considérablement plus riches lorsqu'on la compare à d'autres variables. Il devient alors possible d'évaluer la contribution relative de chaque variable. Dans l'état actuel de nos connaissances, il apparaît que la variable la plus importante dans l'apprentissage d'un instrument de musique est le temps consacré à l'étude et à l'exercice. Ericsson et al. (1993) estiment que, à l'âge de 18 ans, les élèves qui excellent dans la pratique du violon, par exemple, ont investi 7400 heures dans leurs séances de travail. On peut supposer que la pratique du piano exige un investissement du même ordre ou supérieur. Pour être efficace, rappelons-le, ces séances doivent être bien structurées. Ericsson et ses collaborateurs affirment que les séances structurées ne sont typiquement pas agréables en soi ; c'est le désir de hausser son niveau de compétence et de performance qui constitue le principal point d'appui motivationnel aux exercices prolongés. On peut aussi faire l'hypothèse que les gains effectués dans la maîtrise d'un instrument de musique conduiront à une augmentation du sentiment d'efficacité personnelle, qui, en retour, pourra aussi servir de point d'appui à la persévérance dans la pratique de l'instrument. Quelques études récentes visent spécifiquement à évaluer la relation entre les caractéristiques des élèves et leur niveau de performance dans des épreuves musicales. Cette évaluation porte à la fois sur la force prédictive des variables et sur la nature, directe ou indirecte, de la relation entre les variables (voir Amus et Harrison, 1990 ; Harrison, Asmus et Serpe, 1994 ; McCormick et McPherson, 2003 ; McPherson et McCormick, 2000). Les variables étudiées incluent l'aptitude musicale, le niveau de performance scolaire, le nombre d'années d'étude musicale, l'auto-efficacité, l'autorégulation des séances d'entraînement et la motivation. Toutefois, il est difficile, à ce stade, de tirer des conclusions fermes de ces résultats de recherche, car les variables qui sont mises en relation ainsi que leur opérationnalisation diffèrent d'une étude à l'autre. Il reste que la stratégie générale proposée dans ces études (p. ex. : le recours à la modélisation par équations structurales) est tout à fait adaptée à l'objectif qui consiste à évaluer les facteurs qui contribuent aux gains consécutifs à l'apprentissage et au niveau de performance atteint par l'élève.

La motivation renvoie à une disposition à nous engager dans une activité, à lui donner une direction et à la maintenir (Vallerand et Thill, 1993). L'intensité et la direction de cette disposition peuvent varier selon les circonstances. Si nous redéfinissons nos buts, immédiats ou lointains, l'activité dans laquelle nous nous étions engagés peut ne plus avoir la même pertinence. Par ailleurs, les procédés de régulation mis en œuvre pour maintenir cette activité peuvent également changer. L'attrait intrinsèque de l'apprentissage du piano, par exemple, peut augmenter ou diminuer selon l'effort requis et la satisfaction que nous en retirons. Le support reçu de notre entourage peut aussi augmenter ou diminuer, et même influencer l'attrait intrinsèque de l'activité. En somme, la motivation est une disposition changeante.

Jusqu'à présent, on a surtout fait appel aux rapports rétrospectifs pour retracer l'investissement personnel dans l'apprentissage de musique (voir Ericsson et al., 1993 ; Sloboda et al., 1996). Une approche complémentaire, mais qui, à notre connaissance, n'a pas encore été mise en œuvre, consisterait à évaluer la motivation et d'autres variables pertinentes à des intervalles réguliers pendant le déroulement de l'apprentissage et sur une période de plusieurs mois. L'étude longitudinale permet d'estimer pas-à-pas le décours de ces variables et de tracer leur trajectoire dans le temps. Les données de recherche déjà connues suggèrent que l'intérêt intrinsèque de l'activité pourrait être relativement élevé chez la majorité des élèves au début de l'apprentissage. Lorsque la nouveauté s'estompe, d'autres points d'appui à la motivation pourraient prendre le relais. Si ces points d'appui sont exclusivement externes (p. ex. : une pression des parents), on peut prévoir que l'intérêt pour les activités musicales diminuera au fur et à mesure que le temps s'écoule ou que les exigences de l'apprentissage augmentent. Par contre, si l'apprentissage initial conduit à une augmentation de l'auto-efficacité et une forme plus internalisée ou autodéterminée de la motivation, on peut prévoir que l'élève disposera des moyens nécessaires pour continuer à soutenir ses efforts. Cela dit, nous savons encore peu de choses des variations dynamiques de la motivation ni des causes de ces changements. Ces questions de recherche restent ouvertes.

Si les facteurs qui ont retenu l'attention des chercheurs, jusqu'à présent, ont souvent été centrés sur l'élève, on a aussi évoqué la possibilité que les caractéristiques du milieu jouent un rôle non négligeable dans l'apprentissage musical. On a montré que les élèves qui font des progrès continus dans l'apprentissage d'un instrument de musique et qui affichent un niveau d'auto-efficacité élevé ont souvent des parents qui leur fournissent un appui soutenu (Davidson et al., 1995 ; Sloboda et Howe, 1991). Les chercheurs qui se sont intéressés au rôle des parents dans le succès scolaire ont été conduits à différencier deux composantes de l'engagement parental : les pratiques parentales et le style parental (voir Darling et Steinberg, 1993). Les pratiques renvoient à la mise en œuvre de comportements spécifiques : aider l'enfant à trouver du temps pour le travail à son instrument, structurer ou superviser ses séances de travail, jouer en duo avec l'enfant, déposer l'enfant chez son professeur de musique ou assister à la leçon de musique (p. ex. : Howe et Sloboda, 1991 ; Macmillan, 2004). Le style parental désigne plutôt le climat émotionnel dans lequel l'enfant est élevé. Les aspects de ce climat incluent l'intérêt et l'affection portés à l'enfant, les exigences à son endroit, le support à l'autonomie et la communication bidirectionnelle (pour une élaboration, voir Baumrind, 1991). Les caractéristiques qui définissent les pratiques parentales et le style parental peuvent également servir à caractériser les pratiques et le style des professeurs de musique. La contribution relative des pratiques et du style des parents ou des professeurs à l'apprentissage d'un instrument de musique est encore mal connue, mais les travaux actuels donnent à penser qu'il s'agit de facteurs importants dans la régulation de la motivation de l'élève en musique et dans la pratique de son instrument.

CONCLUSION

L'étude musicale constitue un banc d'essai extraordinairement riche pour un modèle théorique de la motivation. La maîtrise de l'instrument exige une période d'apprentissage relativement longue et sollicite fortement la persistance de l'élève. Il s'agit également d'un apprentissage complexe, qui fait intervenir une grande variété d'habiletés telles que la dextérité, la reconnaissance et la discrimination des symboles visuels et des stimuli auditifs, le rythme, la compréhension des concepts afférents à la théorie musicale, l'appréciation esthétique et de la charge émotionnelle des pièces musicales. La maîtrise de chacune de ces habiletés peut présenter des exigences et des attraits différents pour différents élèves. Les habiletés préalables et la motivation pourraient donc se présenter dans une interaction complexe avec les buts spécifiques que l'élève poursuit.

Les facteurs qui influencent l'apprentissage de la musique sont encore mal connus et plusieurs questions importantes restent ouvertes. Par exemple, quel est le rôle relatif des caractéristiques de l'élève et de celles de son milieu dans l'apprentissage de la musique ? Comment ces caractéristiques interagissent-elles entre elles ? Quels sont les facteurs qui poussent un élève à s'engager dans l'étude de la musique ? Sont-ce les mêmes facteurs qui le poussent à poursuivre l'étude de la musique ? Comment se développe la motivation de l'élève ? Comment peut-on influencer la motivation de l'élève, à la hausse ou à la baisse ? Ces questions sont centrales dans l'atteinte d'une meilleure compréhension théorique du phénomène de la motivation ainsi que dans la gestion pratique de l'apprentissage de l'élève.

Références

- Asmus, E. P. et Harrison, C. S. (1990). « Characteristics of motivation for music and musical aptitude of undergraduate nonmusic majors ». *Journal of Research in Music Education*, 38 : 258-268.
- Babin, A. (2005). « Music conservatories in Canada and the piano examination system for the preparatory student: A historical survey and comparative analysis ». Master's Thesis, Department of Music, University of Ottawa, Ottawa, Canada.
- Baird, J. C. et Noma, E. (1978). *Fundamentals of scaling and psychophysics*. New York : Wiley.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall.
- Bandura, A. (2002). *Auto-efficacité : le sentiment d'efficacité personnelle*. Paris : De Boeck Université.
- Baumrind, D. (1991). « Parenting styles and adolescent development ». In J. Brooks-gunn, R. Lerner et A. C. Peterson (Éds.), *The encyclopedia of adolescence* (p. 746-758). New York : Garland.
- Binder, A. (1984). « Restrictions on statistics imposed by method of measurement: Some reality, some myth ». *Journal of Criminal Justice*, 12 : 467-481.
- Blanchard, C., Vallerand, R. J. et Brière, N. M. (2001). « Échelle de motivation à la consommation d'alcool (ÉMCA) ». *Science et comportement*, 28 : 209-235.
- Brière, N. M., Vallerand, R. J., Blais, M. R. et Pelletier, L. G. (1995). « Développement et validation d'une mesure de motivation intrinsèque, extrinsèque et d'amotivation en contexte sportif: l'Échelle de motivation dans les sports (ÉMS) ». *International Journal of Sport Psychology*, 26 : 465-489.
- Chantal, Y. et Vallerand, R. J. (2000). « Construction et validation de l'échelle de motivation envers l'action bénévole (ÉMAB) ». *Loisir et société*, 23 : 477-508.
- Chouinard, C. (2004). *1300 pièges du français parlé et écrit*. Montréal : Éditions La Presse.

- Cokley, K. O. (2000). « A psychometric investigation of the academic motivation scale using a United States sample ». *Measurement and Evaluation in Counseling and Development*, 34 : 109-120.
- Cronbach, L. J. (1951). « Coefficient alpha and the internal structure of tests ». *Psychometrika*, 16 : 297-334.
- Darling, J. et Steinberg, L. (1993). « Parenting style as context: An integrative model ». *Psychological Bulletin*, 113 : 487-496.
- Davidson, J. et Borthwick, S. J. (2002). « Family dynamics and family scripts: a case study of musical development ». *Psychology of Music*, 30 : 121-136.
- Davidson, J., Howe, M. J. A. et Sloboda, J. (1995). « The role of parents and teachers in the success and failure of instrumental learners ». *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, 127 : 40-44.
- De Villers, M.-É. (2003). *Multidictionnaire de la langue française*. Montréal : Édition Québec-Amérique.
- Deci, E. L. et Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. New York : Plenum.
- Deci, E. L. et Ryan, R. M. (2000). « The “what” and “why” of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behaviour ». *Psychological Inquiry*, 11 : 227-268.
- Deci, E. L. et Ryan, R. M. (2002). (Éds.), *Handbook of self-determination research*. Rochester, NY : The University of Rochester Press.
- Deci, E. L., Ryan, R. M., Gagné, M. et Leone, D. R. (2001). « Need satisfaction, motivation, and well-being in a former eastern block country: A cross-cultural study of self-determination ». *Personality and Social Psychology Bulletin*, 27 : 930-943.
- Donnat, O. (1996). *Les amateurs : enquête sur les activités artistiques des français*. Paris : Ministère de la culture, Département des études et de la prospective.
- Ericsson, K. A., Tesh-Römer, C et Krampe, R. T. (1990). « The role of practice and motivation in the acquisition of expert-level performance in real life: An empirical evaluation of a theoretical framework ». In M. J. A. Howe (Éd.), *Encouraging the development of exceptional abilities and talents* (p. 109-130). Leicester : The British Psychological Society.

- Hallam, S. (1998). « The predictors of achievement and dropout in instrumental tuition ». *Psychology of Music*, 26 : 116-132.
- Harrison, C. S., Asmus, E. P. et Serpe, R. T. (1994). « Effects of musical aptitude, academic ability, music experience, and motivation on aural skills ». *Journal of Research in Music Education*, 42 : 131-144.
- Howe, M. J. A. et Sloboda, J. A. (1991). « Young musicians' accounts of significant influences in their early lives: 1. The family and the musical background ». *British Journal of Music Education*, 8 : 39-52.
- Jaccard, J. et Wan, C. K. (1996). *LISREL approaches to interaction effects in multiple regression*. Thousand Oaks, CA : Sage Publications.
- Kim, J. O. (1975). « Multivariate analysis of ordinal variables ». *American Journal of Sociology*, 81 : 261-298.
- Laurin, J. (2001). *Le bon mot*. Montréal : Éditions de l'Homme.
- Legette, R. M. (1998). « Causal beliefs of public school students about success and failure in music ». *Journal of Research in Music Education*, 46 : 102-111.
- Lehmann, A. C. et Ericsson, K. A. (1997). « Research on expert performance and deliberate practice: Implications for the education of amateur musicians and music students ». *Psychomusicology*, 16 : 40-58.
- Likert, R. (1932). « A technique for the measurement of attitudes ». *Archives of Psychology*, 140 : 1-55.
- Macmillan, J. (2004). « Learning the piano: a study of attitudes to parental involvement ». *British Journal of Music Education*, 21 : 295-311.
- McCormick, J. et McPherson, G. (2003). « The role of self-efficacy in a musical performance examination: an exploratory structural equation analysis ». *Psychology of Music*, 31 : 37-51.
- McPherson, G. E. et McCormick, J. (1999). « Motivational and self-regulated learning components of musical practice ». *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, 141 : 98-102.
- McPherson, G. E. et McCormick, J. (2000). « The contribution of motivational factors to instrumental performance in a music examination ». *Research Studies in Music Education*, 15 : 31-39.

- O'Neill, S. A. (1997). « The role of practice in children's early musical performance achievement ». In H. Jørgensen et A. C. Lehmann (Eds.), *Does practice make perfect? Current theory and research on instrumental music practice*. Oslo : Norges Musikkhogskole.
- O'Neill, S. et Sloboda, J. (1997). « The effects of failure on children's ability to perform a musical test ». *Psychology of Music*, 25 : 18-34.
- Osgood, C. E. (1952). « The nature and measurement of meaning ». *Psychological Bulletin*, 49 : 197-237.
- Pajares, F. (1996). « Self-efficacy beliefs in academic settings ». *Review of Educational Research*, 66 : 543-578.
- Pelletier, L., Fortier, M., Vallerand, R., Tuson, K., Brière, N. et Blais, M. (1995). « Toward a new measure of intrinsic motivation, extrinsic motivation, and amotivation in sports : The Sport Motivation Scale (SMS) ». *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 17 : 33-53.
- Pelletier, L., Green-Demers, I. et Béland, A. (1997). « Pourquoi adoptez-vous des comportements écologiques? Validation en langue française de l'échelle de motivation vis-à-vis les comportements écologiques ». *Revue canadienne des sciences du comportement*, 29 : 145-156.
- Pintrich, P. R. et Schunk, D. H. (1996). *Motivation in education: Theory, research and applications*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall.
- Pronovost, G. (2002). *Les enquêtes de participation culturelle : une comparaison France-Québec-Etats-Unis*. Rapport remis à l'Observatoire de la culture et des communications de l'Institut de la statistique du Québec et au Ministère de la culture et des communications du Québec.
- Renwick, J. M. et McPherson, G. E. (2002). « Interest and choice: student-selected repertoire and its effect on practising behaviour ». *British Journal of Music Education*, 19 : 173-188.
- Ryan, R. M. et Deci, E. L. (2002). « Overview of self-determination theory: An organismic dialectical perspective ». In E. L. Deci et R. M. Ryan (Éds.), *Handbook of self-determination research* (p. 3-33). Rochester, NY : The University of Rochester Press.
- Sheldon, K. M., Williams, G. et Joiner, T. (2003). *Self-determination theory in the clinic: Motivating physical and mental health*. New Haven : Yale University Press.

- Sloboda, J. A., Davidson, J. W., Howe, M. J. A. et Moore, D. G. (1996). « The role of practice in the development of performing musicians ». *British Journal of Psychology*, 87 : 287-309.
- Sloboda, J. A. et Howe, M. J. A. (1991). « Biographical precursors of musical excellence: An interview study ». *Psychology of Music*, 19 : 3-21.
- Standage, M., Duda, J., Ntoumanis, N. (2003). « A model of contextual motivation in physical education: Using constructs from self-determination and achievement goal theories to predict physical activity intentions ». *Journal of Educational Psychology*, 95 : 97-110.
- Thurstone, L. L. (1928). « Attitudes can be measured ». *American Journal of Sociology*, 33 : 529-554.
- Vallerand, R. J. et Bissonnette, R. (1992). « Intrinsic, extrinsic, and amotivational styles as predictors of behavior: A prospective study ». *Journal of Personality*, 60 : 599-620.
- Vallerand, R. J., Blais, M. R., Brière, N. M. et Pelletier, L. G. (1989). « Construction et validation de l'échelle de motivation en éducation ». *Revue canadienne des sciences du comportement*, 21 : 323-349.
- Vallerand, R. J., Pelletier, L. G., Blais, M. R., Brière, N. M., Sénécal, C. et Vallières, E. F. (1993). « On the assessment of intrinsic, extrinsic, and amotivation in education: Evidence on the concurrent and construct validity of the Academic Motivation Scale ». *Educational and Psychological Measurement*, 53 : 159-172.
- Vallerand, R. J. et Thill, E. E. (1993). *Introduction à la psychologie de la motivation*. Montréal : Éditions Études vivantes.
- Williamson, A. et Valentine, E. (2000). « Quantity and quality of musical practice as predictors of performance quality ». *British Journal of Psychology*, 91 : 353-376.
- Wilson, T. (1971). « Critique of ordinal variables ». In H. M. Blalock (Ed.), *Causal models in the social sciences*. Chicago : Aldine.
- Zimmerman, B. J. (2000). « Self-efficacy: An essential motive to learn ». *Contemporary Educational Psychology*, 25 : 82-91.
- Zumbo, B. D. et Zimmerman, D. W. (1993). « Is the selection of statistical methods governed by level of measurement? ». *Canadian Psychology*, 34 : 390-399.

MIDIATOR*: A TOOL FOR ANALYSING STUDENTS' PIANO PERFORMANCE

Shervin Shirmohammadi, Ali Khanafar

Distributed Collaborative Virtual Environment Research Laboratory,
Piano Pedagogy Research Laboratory,
University of Ottawa

Gilles Comeau

Piano Pedagogy Research Laboratory,
University of Ottawa

Abstract

The *MIDIator* is a software tool that has been developed to analyze a piano student's performance. The program takes MIDI data that has been generated by an electronic instrument like a Disklavier or electronic keyboard and compares it to the data generated by previous performances of the same score or to the nominal score to study variations in tempo, note volume and duration as well as the articulation, producing graphs that are visual representations of what has occurred at the keyboard. Teachers and students have an objective measurement of the student's performance that can be used as a basis for analyzing the performance, correcting mistakes, and following progress over time.

INTRODUCTION

Piano pedagogy is the study of the interactions between an instructor, a student and a piano. The interactions in this scenario are quite diverse and involve verbal communication, auditory perception, visual demonstration, physical interaction and the instructor's feedback, which is based on aural and visual inspection and verification of the student's performance. The objective is to teach the student how to properly play the instrument, and to achieve this, the instructor needs to evaluate the player's performance. This measurement takes into account many factors, such as correct reading of the musical score (tempo, duration, dynamics, articulation) and proper interpretation of a composer's intention, as well as the piano player's physical movements and body posture.

Traditionally, professional piano teachers have relied extensively on subjective visual and acoustic observation of students to improve their performance. This approach has been successful when highly qualified teachers are working with gifted and dedicated students.

* This research was made possible through the Piano Pedagogy Research Laboratory at the University of Ottawa. The authors acknowledge the research and software programming contributions of Mathieu Kühn and Michel Khoury. We would also like to acknowledge the financial support of the University of Ottawa through its Development of Interdisciplinary Initiatives Program.

However, the results are not as conclusive with less experienced teachers and/or students with less motivation. Recently, piano pedagogy specialists have recognized the benefit of using audio-visual technologies to monitor piano students during live performances (Baker-Jordan, 2003; Comeau, Brooks and Spence, 2004; Toy, 2003). Such monitoring assists piano teachers and students in evaluating piano playing more efficiently (Canazza, Friberg, Rodà and Zanon, 2003; Riley, Coons and Marcarian, 2005). In this computer age, numerous technologies are available to push this investigation a step ahead. Our interest is in applying these technologies to provide a simple tool with which piano teachers and piano pedagogy researchers can measure and analyze a player's performance, both for live and offline processing.

NEW TECHNOLOGY

Recently, we have seen the emergence of a number of music-related software programs that evaluate musical performance and can be applied to music teaching and learning. *IMUTUS*, for example, provides an interactive multimedia music tuition system for training users on traditional instruments. The system is based on audio/optical recognition, multimedia, and virtual reality technologies (Fober et al., 2004). *Feel-ME* is another tool that focuses on the communication of emotion in the performance of music. It attempts to develop new methods for teaching expressivity based on recent advances in music science, psychology, technology, and music acoustics (Juslin, 2004).

Many artificial intelligence methods that can measure tempo and dynamics in a musical performance are also being developed. Dixon, Goebel and Widmer (2002) have created a system that attempts to quantify and characterize musical performance by tracking specified parameters and displaying them in an animated graphical format called the Performance Worm. *Classic RUBATO* is a software tool for computer-aided analysis and performance of musical material. This program can perform musical gestures and has been used in an audio-visual environment to model the performance of virtual artists (Müller, 2002).

Director Musices (Bresin and Friberg, 2000; Canazza, et al., 2003; Friberg, Colombo, Fryden and Sundberg, 2000) provides a way for researchers to understand what makes a good musical performance. The program transforms scores into musical performances, which are created using predetermined rules (parameters) that are not only geared to determining the rules corresponding to fundamental performance principles used by musicians, but also to assess these rules and their importance. Although these tools provide useful features for analyzing musical performances, they have not been specifically designed to measure and compare the performances of a young music student in a teaching/learning situation, where a teacher in the piano studio or the student in the home environment can visualize, on simple graphs, the quality of the student's playing, both in

real-time and off-line, and compare current performances with his or her previous ones, to see progress and/or evolution.

PROPOSED APPROACH

It is well known that there are two types of score performances. One is the *nominal* performance, which is how the music would sound if it were to be played exactly according to the notes and without any attempt at personal expression. The other type is the *expressive* performance which is the personal rendition of a piece by a musician. There is usually a difference between a nominal score and its expressive counterpart, due to artistic interpretation. With our tool, called the *MIDIator*, we can capture the expressive performance of a piano student and easily compare it to the nominal score, or to the expressive score of a professional pianist. To accomplish this, we use the MIDI (Musical Instrument Digital Interface) format. MIDI is a standard specification that enables electronic instruments such as the Disklavier, electronic keyboards, synthesizers or samplers to communicate with a computer. MIDI data contains precise information such as tempo, volume of the individual note, and start and finish times (duration and articulation). The *MIDIator* uses both nominal and expressive scores to compare the performance between various renditions, in order to see the differences in tempo, as well as differences in volume, duration and articulation of the notes in the score. The system also displays a quantitative summary of the differences between the two scores, including the least and best matched note in terms of timing, and average timing deviation between the expressive and the nominal scores.

THE *MIDIATOR*

Architecture

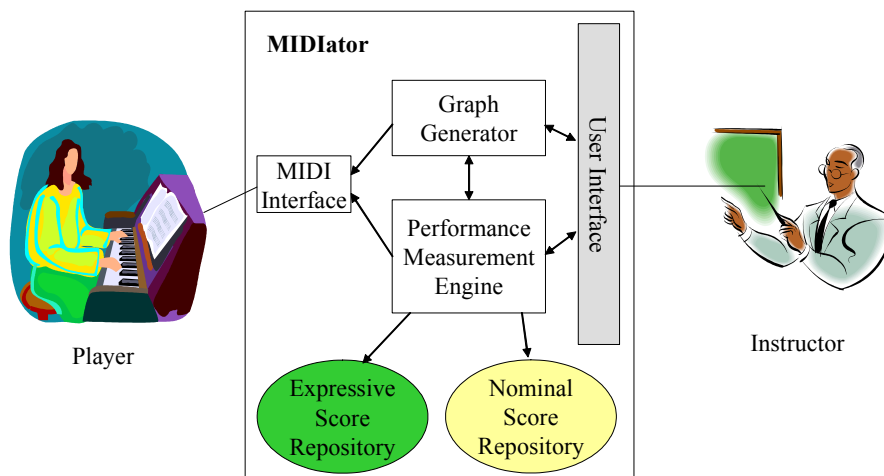


FIGURE 1. The *MIDIator* architecture

The architecture of our system, implemented in Microsoft's .Net platform using C#, is clearly shown in figure 1. In this system, a Yamaha Disklavier equipped with a MIDI port sends the pianist's musical performance to a computer running the *MIDIator* system. The system can read the MIDI information and allow the instructor to monitor the player's performance with the graphs produced by the software. The instructor can then pinpoint the places that errors occur in the pianist's interpretation, as well as their magnitude, in comparison with either the nominal score or a selected expressive score that is deemed to be a good performance. The player can also measure his or her own performance by comparing it to specific nominal and expressive scores, or to his or her own previous performances. A repository of nominal scores as well as a repository of the selected expressive scores is available, and implemented in Extensible Markup Language (XML). Because these repositories are in XML, it is possible to add more performances to the system.

Features

Figure 2 shows some of the *MIDIator*'s most commonly used tools. Let us have a quick look at some of these features.

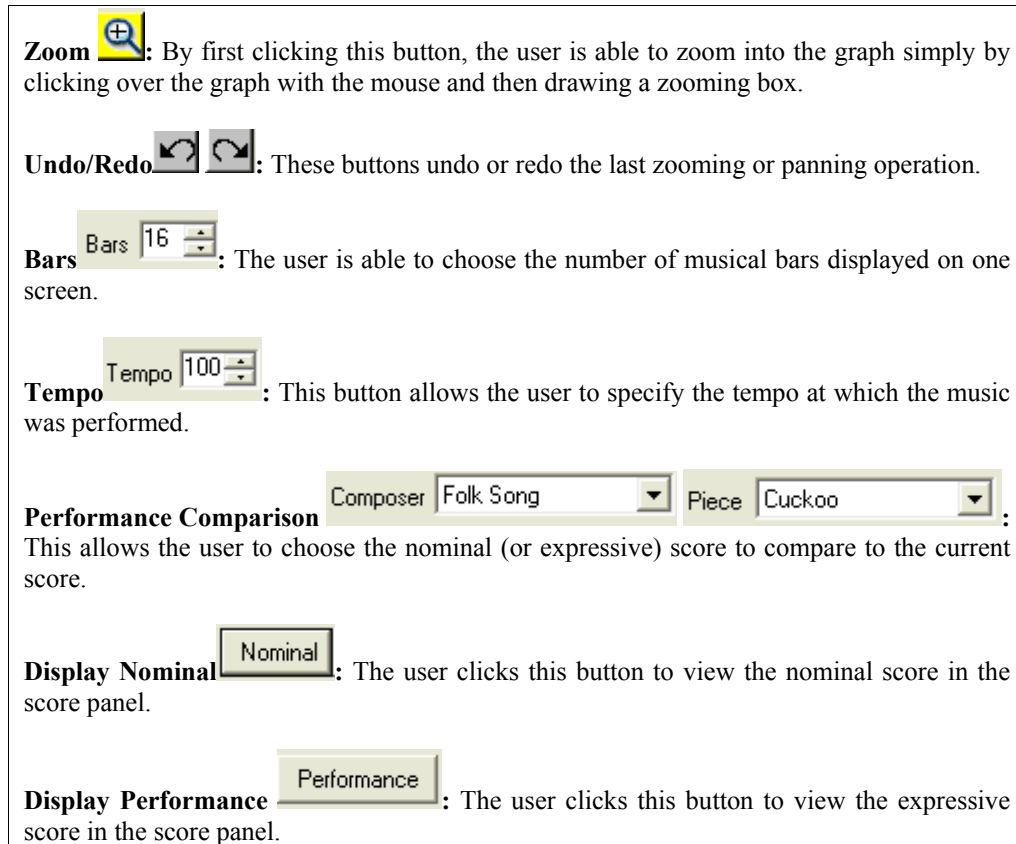


FIGURE 2. The *MIDIator* toolbar

The next figures illustrate some of the graphs displayed by the *MIDIator* for various components of the musical performance.

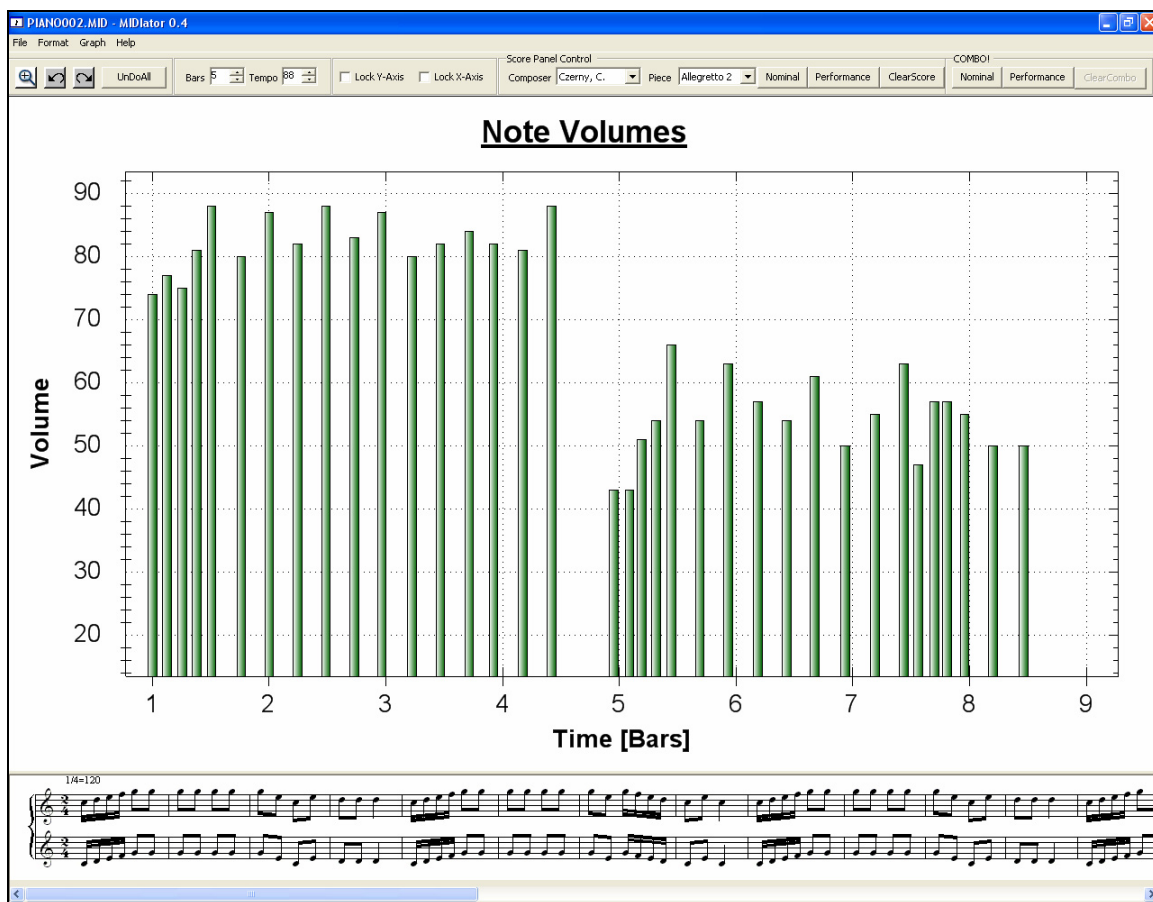


FIGURE 3. Right-hand note volumes displayed as a bar graph

In figure 3, each bar indicates the absolute volume level of each note in the right hand. By looking attentively at the overall level of different sections, the instructor or the student can see the changes in dynamics and the amount of variation (i.e. a lot of changes in the dynamics or very few) as well as the intensity of each variation (i.e. a huge difference between the loud and the soft sections, or subtle changes between two). In the above graph, there is an obvious contrast between the first section, which is played *forte* and the second, which is *piano*. We can also see the change in dynamics within each section if we look at the individual note volumes.

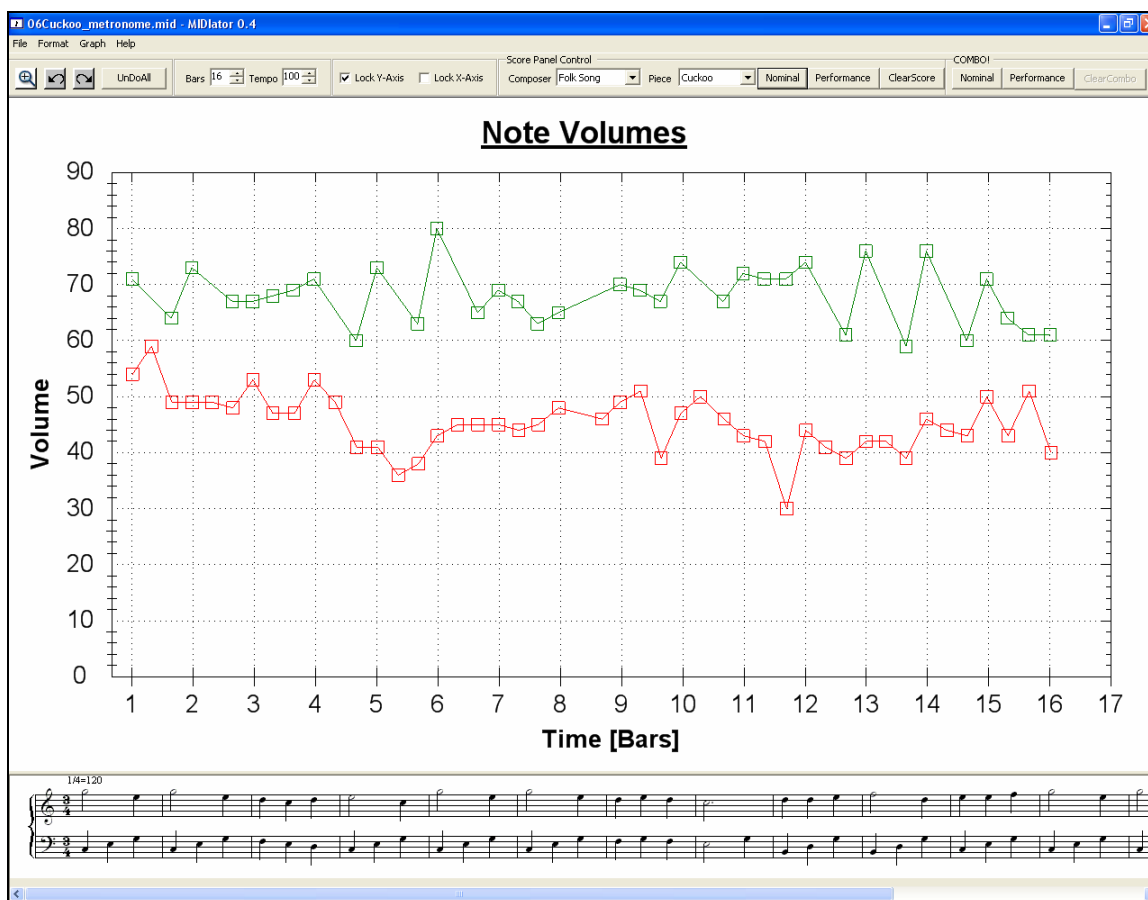


FIGURE 4. Note volumes displayed as a line graph

Figure 4 also represents note volume, but the data is presented as a line graph; again the green lines indicate the right hand while the red lines indicate the left hand. This provides the instructor or the student with a good visual representation of the way each musical phrase is shaped. The subtlety of musical expression can be analyzed by looking at the way the note volumes make patterns or follow certain shapes. By looking at the relationship between the two lines, the balance between the volume in the right hand and the left can also be studied.

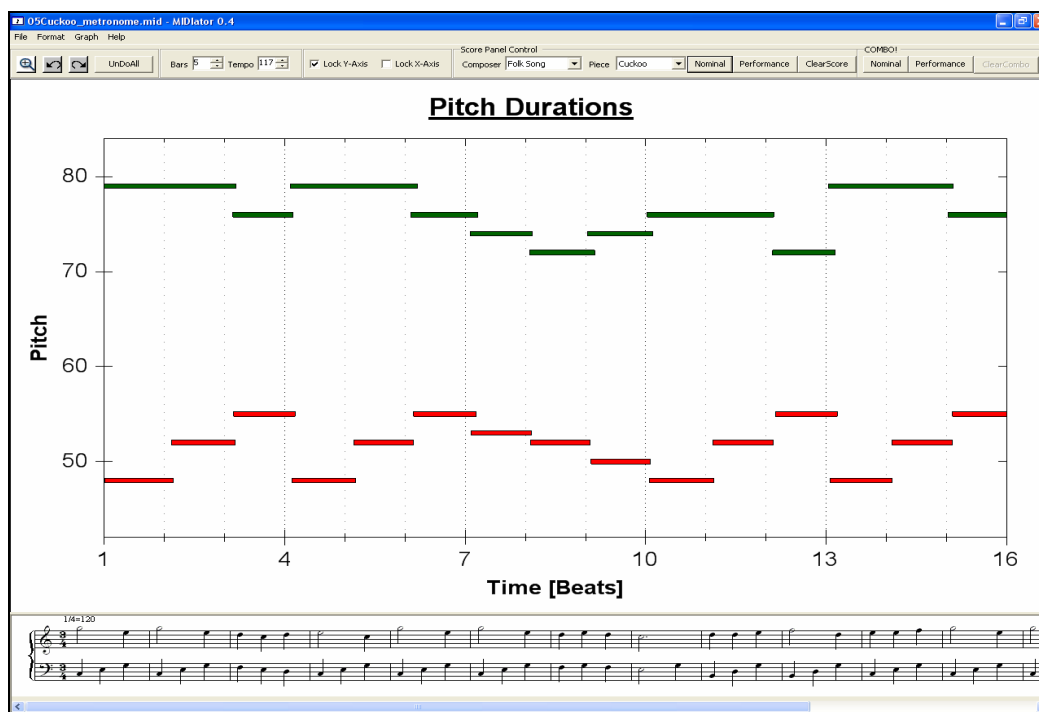


FIGURE 5. Pitch durations (Example 1)

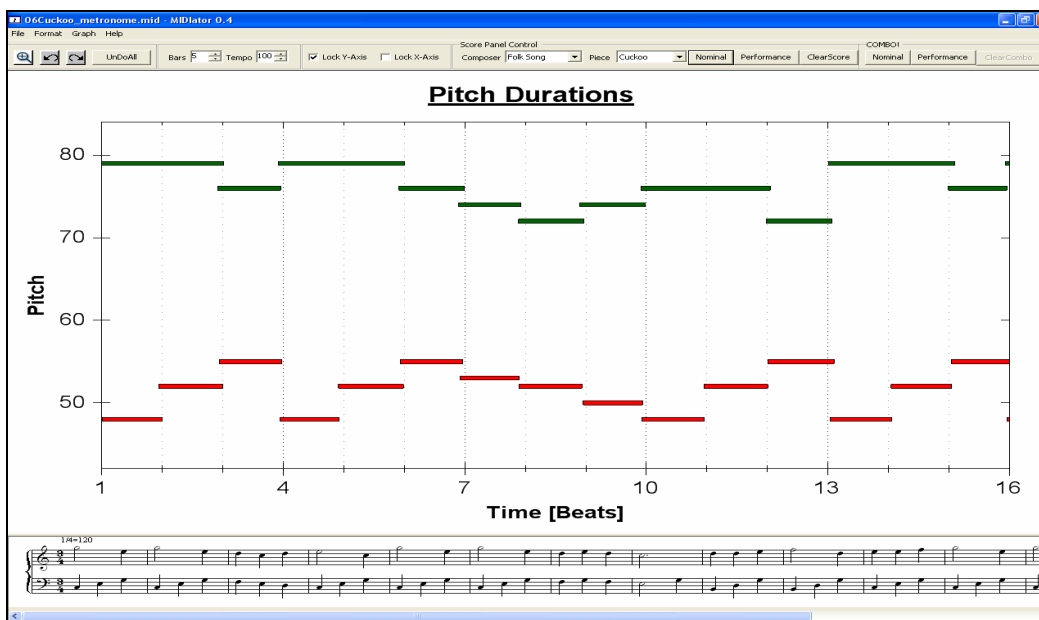


FIGURE 6. Pitch durations (Example 2)

Figures 5 and 6 show the durations of each note. The dotted vertical lines on the graph indicate the beats, which are organized according to the time signature. In expressive performances, the duration of each note is often stretched or shortened slightly to provide certain nuances and accentuate certain directions. These graphs clearly indicate how note durations are modified to suit the performer's intention. In figure 5, the performer prolongs each note slightly, while in figure 6, he or she plays just a bit ahead. Both performances sound in time, but when we analyze them, we see the slight modifications that show how the student is expressing the timing or duration.

The same graphs can also be studied for an analysis of each note's articulation, a slight overlapping indicating a strong *legato* while a space between durations indicating various kinds of detached notes (from a *portato* to a very short *staccato*). In terms of students' performances, this kind of graph can also show rhythm errors, such as long notes not being held, Alberti bass where fingers are not removed on time, notes in the R.H. and L.H. that are not struck together, etc. It can also illustrate improper articulation, such as forgotten staccato, legato with a slight gap between the notes, or legato where the overlapping is too pronounced, etc.

PRACTICAL USES

A prototype of the *MIDIator* has been completed and is now ready to be used in the Piano Pedagogy Research Laboratory at the University of Ottawa. From a pedagogical perspective, the performance data measured and analyzed by *MIDIator* have many applications. They provide a quantitative basis for comparing, reproducing, and improving a pianist's performance.

Figures 7 and 8 show some of the experimentation that has already been done in a studio environment.

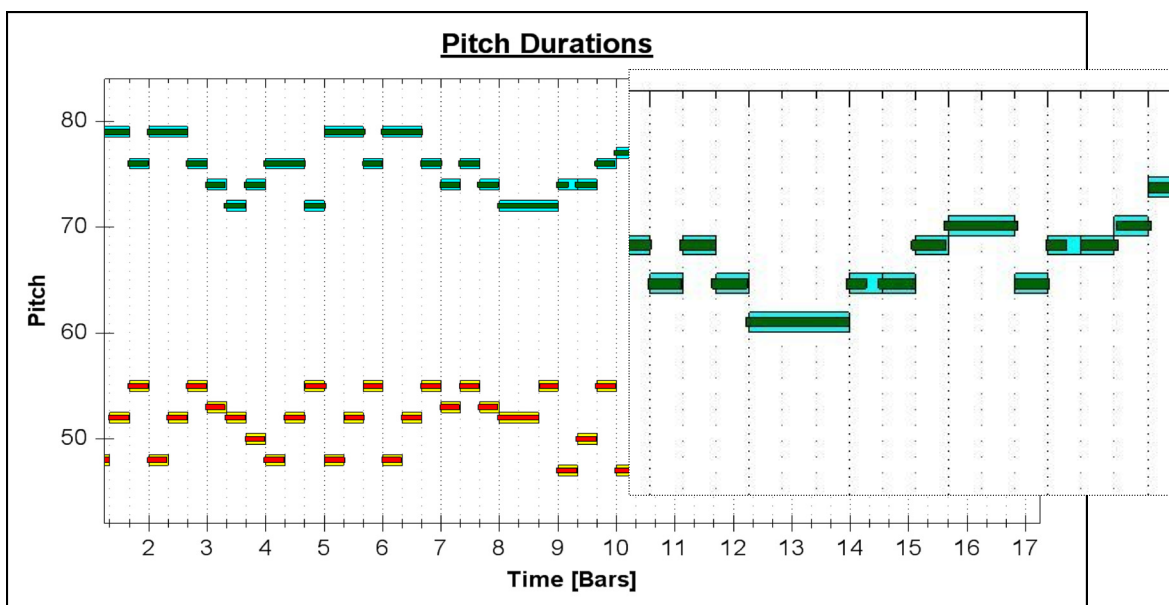


FIGURE 7. Pitch durations. Nominal right hand, turquoise, nominal left hand, yellow. Superimposed on these are the bars representing the student's performance: the right hand is green, the left hand is red.

In figure 7, the turquoise bars represent the absolute mathematical durations of the notes in the nominal score. The superimposed green bars represent the student's performance. Looking at the zoomed-in area in the graph, it is possible to see how the performer plays the notes in the earlier bars slightly ahead of time giving a sense of moving forward in the music toward a climax. The later bars show the opposite tendency, a slight elongation of the notes, which gives an impression of a subtle delay in the forward motion of the music. Thus we have a graphical representation of the performer's expressivity.

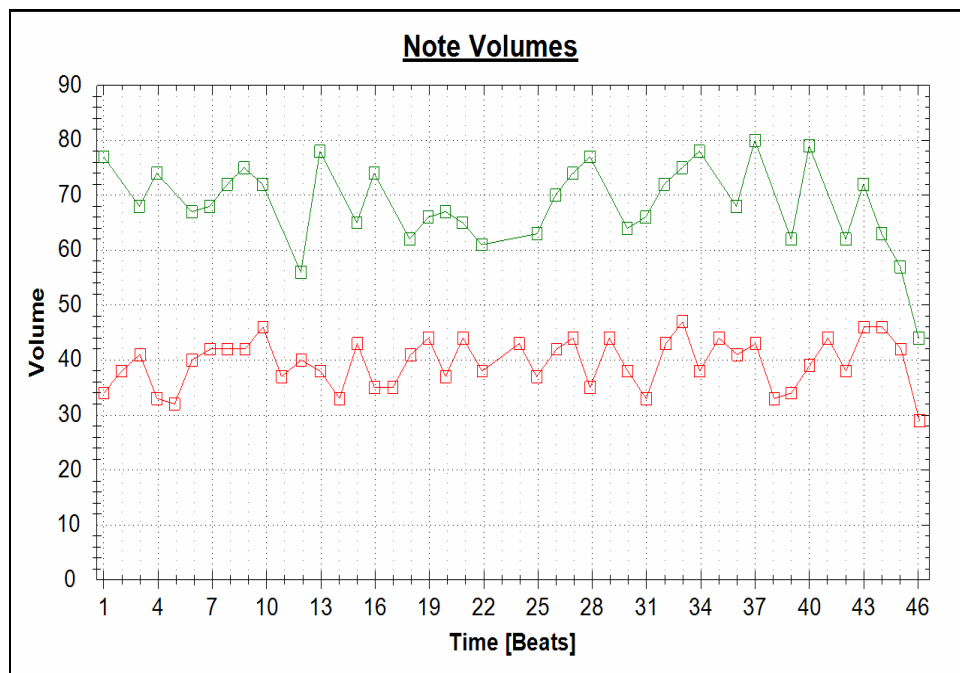


FIGURE 8. Note volumes from the performance of a more advanced student

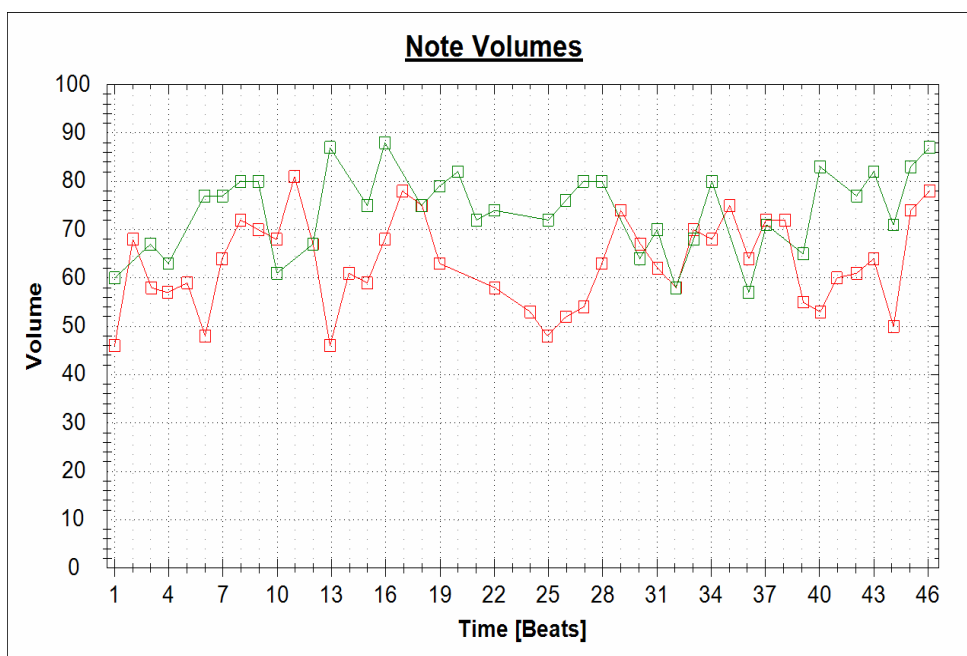


FIGURE 9. Note volumes from a beginner student's performance

Figures 8 and 9 compare the performances of two students at different levels. In figure 8, showing the performance of the more advanced student, we can clearly see the difference in level of sound between the right and left hands (red vs. green), indicating an appropriate balance between the two hands, where the melody in the right hand comes out nicely over a softer accompaniment. This is a skill which is hard to acquire in the early stages of music learning. Figure 9 shows the note volumes from a performance by a beginner student, and we can see that the student is still unable to play with the appropriate balance between the hands. This skill will be developed over a number of weeks and/or months. The visual representation, however, helps the student understand the difference, and develop an idea of where he or she is going. More important, by redoing the same graph periodically, the student can see the progress that is being made and the teacher can monitor how the skill is developing.

CONCLUSION

We have demonstrated a software tool that can be used to analyze a pianist's performance and compare it to other performances or the nominal score. In addition to refining its application to the individual teaching situation, other directions will be explored. First, the *MIDIator* will be developed into a more user-friendly system for use in the home studio. Second, building on our experience in web-based collaboration (Oliviera et al., 2003) and e-learning (Comeau et al., 2004), the *MIDIator* will be expanded for use as a distance-learning tool that allows collaboration between geographically-distributed players and instructors.

References

- Baker-Jordan, M. (2003). *Practical piano pedagogy: The definitive text for piano teachers and pedagogy students*. Los Angeles: Warner Bros. Publication.
- Bresin, R., Friberg, A. (2000). Emotional coloring of computer-controlled music performances. *Computer Music Journal* 24 (4): 44-63.
- Canazza, S., Friberg, A., Rodà, A., & Zanon, P. (2003). Expressive Director: A system for the real-time control of music performance synthesis. *Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference II*, pp. 521-524.
- Comeau, G., Brooks, M., Spence, J. (2004, June). *Video and broadband videoconference in professional development*. Paper presented at the Biennial conference of the International Consortium for Educational Development (ICED) in Ottawa, ON.
- Comeau, G., Payeur, P., Desjardins, A., Keillor, E., & Bressler, N. (2004, September). *Challenging 300 years of piano teaching practices with 21st century technology: Piano playing-related health problems*. Paper presented at the annual conference of the Canadian Medical and Biological Engineering Society, Québec, QC.
- Dixon, S., Goebel, W., & Widmer, G. (2002). Real time tracking and visualisation of musical expression. *The Second International Conference on Music and Artificial Intelligence*, London, pp. 58-68.
- Fober, D., Letz, S., Orlarey, Y., Askenfeld, A., Hansen, K.F. & Schoonderwaldt, E. (2004). IMUTUS: An interactive music tuition system. *Proceedings of the Sound and Music Computing Conference*, pp. 97-103.
- Friberg, A., Colombo, V., Fryden, L., & Sundberg, J. (2000). Generating musical performances with Director Musices. *Computer Music Journal* 24 (3): 23-29.
- Juslin, P. N. (2004). Computer feedback in musical communication of emotions: The Feel-ME program. *Proceedings of the 18th Congress of the International Association of Empirical Aesthetics*, pp. 550-554.
- Müller, S. (2002). Computer-aided musical performance with the *Distributes Rubato* environment. *Journal of New Music Research* 31 (3): 233-237.
- Riley, K., Coons, E. E., & Marcarian, D. (2005). The use of multimodal feedback in retraining complex technical skills of piano performance. *Medical Problems of Performing Artists* 20 (2): 82-88.

Oliveira, J.C., Hosseini, M., Shirmohammadi, S., El Saddik, A., Malric, F., Nourian, S., et al. (2003). Java multimedia telecollaboration. *IEEE Multimedia* 10 (3): 18-29.

Shirmohammadi, S., El Saddik, A., Georganas, N.D., Steinmetz, R. (2003). JASMINE: A tool for multimedia collaboration on the internet. *Journal of Multimedia Tools and Applications* 19 (1): 5-28.

Toy, M. (2003, December). The video camera: A teacher's best friend. *The Piano Adventures[®] Teacher* 3, p. 13.

TECHNOLOGIES D'ANNOTATION VIDÉO ET LEURS APPLICATIONS À LA PÉDAGOGIE DU PIANO

Bruno Emond

Institut de technologie de l'information, Conseil national de recherches Canada
Département des sciences de l'éducation, Université du Québec en Outaouais

Marion A. Barfurth

Faculté d'éducation, Université d'Ottawa

Gilles Comeau

Département de musique, Université d'Ottawa

Martin Brooks

Institut de technologie de l'information, Conseil national de recherches Canada

Résumé

La vidéo est utilisée pour soutenir l'apprentissage et l'enseignement dans plusieurs domaines. Cependant, la majorité des applications de la vidéo à des fins d'apprentissage et d'enseignement utilise peu les avantages de la vidéo numérique. Un élément fondamental associé à la vidéo numérique est la possibilité d'annoter de manière automatique ou manuelle le contenu visuel et sonore et d'amalgamer ces annotations à la vidéo pour créer de nouveaux documents multimédias. L'ajout d'annotations ouvre toutes sortes de possibilités sur le plan du développement de ressources médiatiques pour soutenir l'apprentissage, l'enseignement et la recherche sur la pédagogie du piano. Le présent article présente quelques exemples d'application d'annotations vidéo. Ces applications sont discutées dans le contexte des étapes clés de la création vidéo soit le tournage, le montage, la gestion des ressources, et la diffusion.

INTRODUCTION

Cet article présente une partie des recherches effectuées au Laboratoire de recherche en pédagogie du piano en collaboration avec le Conseil national de recherches Canada (CNRC), et plus particulièrement son programme de recherche sur la communication visuelle dans les réseaux à larges bandes passantes. L'objectif de cette collaboration est de mettre au point des technologies de communication vidéo qui faciliteront l'étude systématique d'une vaste gamme de modalités de téléapprentissage du piano, en mettant à profit le travail déjà réalisé en matière de téléconférences à large bande, de serveurs vidéo et outils pour l'apprentissage assisté par vidéo. C'est sur ce dernier élément que portera essentiellement le présent article en mettant en évidence certaines technologies d'annotation vidéo et d'indexation du contenu visuel et sonore de documents audiovisuels.

La vidéo est utilisée pour soutenir l'apprentissage et l'enseignement dans plusieurs domaines dont la physique (Constantinou et Papadouris, 2004), les mathématiques (Blisset et Atkins, 1993), les sports (Guadagnoli, Holcomb et Davis, 2002 ; Horn, Williams et Scott, 2002) les soins de santé (Hill, Hooper et Wahl, 2000), et la consultation thérapeutique (Urdang, 1999). Son utilisation en musique n'est pas non plus une pratique récente (Broyles, 1997 ; Fung, 1998 ; Wagner et Brick, 1993). Cependant, la majorité des applications de la vidéo à des fins d'apprentissage et d'enseignement utilise peu les avantages de la vidéo numérique (Shephard, 2003).

Comparée à la vidéo analogique, la vidéo numérique permet de stocker et de rendre disponible de manière plus efficace de grandes quantités de documents audiovisuels, soit localement ou à distance. La vidéo numérique permet aussi de parcourir le contenu de manière non linéaire, ce qui facilite grandement la sélection et le visionnement de segments vidéo, et de combiner rapidement des segments vidéo issus de sources différentes (Constantinou et Papadouris, 2004). L'accès en mode continu à distance est particulièrement intéressant parce qu'il permet de faire la lecture d'un flux audio ou vidéo à mesure qu'il est diffusé. Il s'oppose ainsi à la diffusion par téléchargement qui demande que le média soit transféré sur le disque local de l'utilisateur pour qu'il soit visionné.

Un autre élément fondamental associé à la vidéo numérique est la possibilité d'annoter de manière automatique ou manuelle le contenu visuel ou sonore et d'amalgamer ces annotations à la vidéo pour créer de nouveaux documents multimédias. De grandes quantités d'information peuvent ainsi enrichir le contenu audiovisuel. L'ajout d'annotations à la vidéo ouvre toutes sortes de possibilités sur le plan du développement de ressources médiatiques pour soutenir l'apprentissage, l'enseignement et la recherche sur la pédagogie du piano. L'ajout d'annotations augmente de manière considérable l'interactivité de la vidéo (Geißler, 1995). Sans des moyens de naviguer dans un document audiovisuel, celui-ci demeure essentiellement un médium narratif qui supporte difficilement un apprentissage actif où l'apprenant a un contrôle sur le médium (Laurillard, 1995 ; Shephard, 2003). La présence d'annotations peut faciliter grandement cette interactivité et le contrôle par l'apprenant, en identifiant les segments vidéo pertinents qui correspondent à un but ou à une intention poursuivie par l'apprenant.

Les technologies avancées d'annotation permettent déjà de générer automatiquement par machine des métadonnées (Hunter et Newmarch, 1999), des résumés (Zhang et Nunamaker, 2004), des abstractions visuelles (Yeung et Yeo, 1997), ou d'offrir des représentations simples et concises du contenu qui permettront à l'utilisateur de sélectionner et de naviguer dans des segments vidéo sans avoir à visualiser des sections ayant moins d'intérêt. De telles applications sont essentielles à la consultation de banque de vidéos (Hunter et Newmarch, 1999). Ainsi, l'information textuelle ajoutée au document audiovisuel, comme l'analyse d'expert sur les techniques utilisées lors d'une leçon de piano, peut enrichir le contenu vidéo en offrant des légendes dynamiques qui serviront non

seulement d'outil d'apprentissage et d'enseignement mais aussi d'éléments de recherche sur la pédagogie du piano. L'annotation multimodale (Snoek et Worring, 2005) permet aussi d'associer le contenu MIDI au document audiovisuel, permettant ainsi de faire jouer le piano simultanément avec le visionnement, ou même d'utiliser le piano comme outil de recherche de document vidéo (comme rechercher tous les documents vidéo qui incluent une certaine séquence de notes). Les recherches en vidéo informatique permettent aussi de développer des applications où une ou plusieurs caméras peuvent indiquer si le professeur ou l'élève a ses mains sur le clavier et quel doigt est utilisé pour appuyer sur chacune des notes du piano (Gorodnichy et Yogeswaran, 2006).

Les prochaines sections du présent article visent à présenter une vue d'ensemble de la problématique de l'annotation vidéo et des différentes solutions qui peuvent y être apportées. La première section présente quelques notions de base touchant l'annotation vidéo. Par la suite, l'annotation sera discutée en relation avec la pédagogie du piano dans le contexte des étapes de saisie, de production et de diffusion de la vidéo.

QU'EST-CE QUE L'ANNOTATION VIDEO ?

L'annotation vidéo est le processus par lequel des informations textuelles ou autres sont associées à des segments déterminés de documents vidéo pour en enrichir le contenu. Ces informations ne modifient pas le document original, mais sont simplement mises en correspondance avec celui-ci. Définie ainsi, une annotation est un terme générique qui regroupe aussi bien l'ajout d'informations sans contraintes particulières, comme un échange de courriel à propos d'une vidéo, ou l'ajout d'informations qui doit respecter un format bien défini. Dans ce second cas, le terme métadonnées est plus approprié et spécifique. Ainsi plusieurs standards comme « Dublin Core » (Dublin Core Metadata Initiative, 2004) ou « IEEE Learning Object Model » (Learning Technology Standards Committee, 2002) permettent de décrire des contenus multimédias en utilisant une liste définie d'attributs comme la date de création, les auteurs, l'encodage utilisé par la vidéo, la résolution de l'image, ou la bande passante exigée pour sa transmission par réseaux. Dans le domaine de la vidéo, un standard de description du contenu d'un média tel que MPEG7 (JTC1/SC29/WG11, 2004) permet de décrire de manière fine les éléments sonores et visuels d'un document audiovisuel numérique.

Le processus d'annotation est automatique ou manuel. L'annotation automatique procède par traitement informatique du signal vidéo ou sonore pour en extraire des éléments servant à l'indexation. L'intervention humaine dans ce contexte est minimale et consiste uniquement à lancer et interrompre les applications informatiques. L'annotation automatique est effectuée par machine et elle peut être plus ou moins complexe selon les techniques et la sophistication des outils d'intelligence artificielle utilisés. L'annotation la plus simple à ce niveau consiste à extraire des informations sur les caractéristiques du

média comme la durée de la vidéo. Ce type d'extraction automatique n'implique aucune technique d'analyse du signal vidéo. Par contre, la détection des mouvements des mains et des doigts au-dessus du clavier et l'appariement de ces mouvements aux messages MIDI transmis par le piano permettent de produire des annotations en temps réel des images vidéo. Ainsi, lors de la saisie, un système de capture des images des mains jouant sur les notes peut spécifier si les mains de l'élève ou du professeur de piano se trouvent au-dessus du clavier et quels doigts sont utilisés pour enfoncer les notes (Gorodnichy et Yogeswaran, 2006).

L'annotation manuelle quant à elle, exige une intervention humaine. Ce type d'intervention est nécessaire lorsque le traitement automatique ne peut suffire pour catégoriser des segments vidéo. L'annotation manuelle n'a pas de contrainte particulière sauf qu'elle peut demander un certain niveau d'expertise de la part de la personne annotant un document audiovisuel. Ainsi, l'identification d'une technique de doigté ou l'approche pédagogique utilisée demandent l'intervention d'un expert en pédagogie du piano. Cette information peut être saisie à l'aide de logiciels spécialisés d'édition vidéo (comme *Final Cut Pro*) ou par l'intermédiaire d'une interface Web, interface qui permet aux usagers de commenter le contenu de vidéos livrées par des serveurs (Emond et Brooks, 2003 ; Emond, Brooks et Smith, 2001 ; Schroeter, Hunter et Kosovic, 2004).

ANNOTATIONS ET PRODUCTION VIDEO

Production vidéo

Il y a plusieurs points dans le cycle de vie qui va de la saisie à la diffusion d'images vidéo où le contenu peut être annoté. Les trois étapes principales de ce cycle de vie sont : le tournage, le montage, et la diffusion. Lors du tournage, les images sont enregistrées par l'entremise d'une caméra soit sur ruban magnétique, soit directement sur le disque d'un ordinateur. L'étape de montage consiste à numériser, à sélectionner et à organiser des segments vidéo, et finalement à compresser le document vidéo dans un format adéquat pour diffusion tel MPEG4 (JTC1/SC29/WG11, 2002). L'étape de diffusion consiste à rendre disponible le document vidéo par l'intermédiaire de serveurs Web et de serveurs vidéo.

Même si en principe il est possible d'effectuer des annotations automatiques et manuelles à chacune des étapes du cycle de vie des documents vidéo, l'annotation automatique se retrouve surtout aux étapes de tournage, et de montage, alors que l'annotation manuelle se retrouve surtout aux étapes de montage (par des experts) et de diffusion (par des utilisateurs). En fait, l'annotation automatique s'effectue sur des documents vidéo en cours de saisie ou lorsqu'ils ont été finalisés à l'étape de montage puisque le contenu vidéo est déterminé suite à cette dernière étape. L'annotation manuelle par contre est difficile lors du

tournage puisqu'elle demande souvent une analyse du contenu en fonction d'un domaine d'expertise. Par contre, cette expertise peut s'exercer beaucoup plus facilement à l'étape du montage et de la diffusion puisque l'opérateur humain peut naviguer librement dans la ligne temporelle de la vidéo et a donc le temps nécessaire pour faire l'analyse de contenu.

La figure 1 représente certains processus et produits du cycle de vie de la production vidéo et d'annotations qui peut y être ajoutées. La figure est divisée en trois étapes principales, la gestion des médias étant associée à la phase de montage. La gauche de la figure présente les moments importants qui mènent de l'enregistrement vidéo jusqu'au visionnement de documents multimédias en passant par les étapes spécifiques au montage. Les sections du centre et de droite présentent différents processus d'annotations et les résultats de ces processus. Les sections suivantes décrivent ces méthodes d'annotation vidéo.

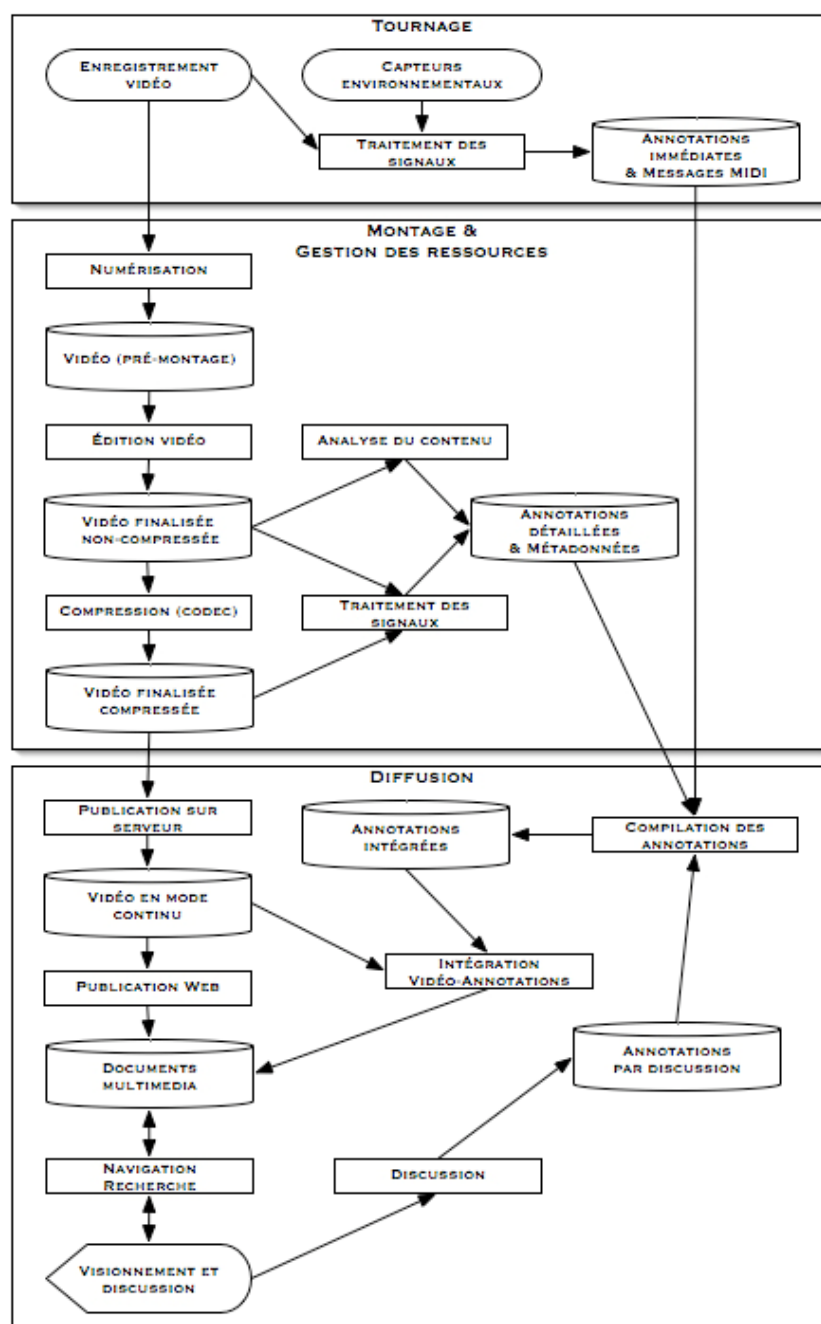


FIGURE 1. Processus, documents audiovisuels et annotations générés lors du tournage, du montage, de la gestion des médias, et de la diffusion de documents multimédias.

Tournage

La complexité inhérente aux situations d'apprentissage exige souvent la présence de plusieurs caméras (Comeau, Brooks et Spence, 2004 ; Stigler, Gonzales, Kawanaka, Knoll et Serano, 1999), et la richesse en contenu des situations d'apprentissage limite de manière importante la possibilité pour un ou plusieurs observateurs humains d'annoter les événements qui se déroulent en temps réel. Cependant, le traitement automatique des signaux vidéo et sonore permet d'appliquer des catégories en parallèle et simultanément au processus d'enregistrement des données audiovisuelles sur bandes ou sur disques magnétiques. De plus, lorsque les instruments de musique ont des capacités MIDI (International MIDI Association, 1983, 1988), comme le piano, il est possible d'associer au contenu audiovisuel la performance musicale saisie sous la forme de messages MIDI. Une application de ce type a été développée au Laboratoire de recherche en pédagogie du piano, en collaboration avec le CNRC, pour identifier les doigts utilisés pour appuyer sur les notes du piano. Une caméra, située au-dessus du clavier, traite le signal vidéo en temps réel, repère les doigts et apparie cette classification aux messages MIDI qu'émet le piano. L'image vidéo qui surplombe le clavier peut ainsi être annotée en établissant une correspondance entre le message MIDI et l'image de la caméra située au-dessus du piano (Gorodnichy et Yogeswaran, 2006). Les annotations immédiates ainsi générées peuvent être compilées par la suite afin de produire des documents multimédias et guider l'utilisateur dans la découverte et la recherche de segments vidéo.

Montage et gestion des médias

La production d'annotations et de métadonnées est une activité importante lors du montage et de la gestion des médias puisque les métadonnées sont un élément essentiel de la gestion des médias numériques (Hunter et Newmarch, 1999). Cependant, les schémas de métadonnées sont souvent limités quant à leur capacité de décrire spécifiquement le contenu de domaines particuliers tels que l'enseignement du jeu pianistique. L'intention principale des schémas de métadonnées comme Dublin Core (Dublin Core Metadata Initiative, 2004) ou IEEE LOM (Learning Technology Standards Committee, 2002) vise l'interopérabilité, soit le partage de ressources entre différentes plateformes et domaines d'application. D'où le besoin de développer des outils et des vocabulaires spécialisés d'annotation vidéo, en complément aux applications génériques de métadonnées.

Le CNRC a mis au point une application d'acquisition de connaissances d'experts qui s'intègre à un logiciel spécialisé d'édition vidéo. Lors de l'étape de montage, un expert peut ajouter des étiquettes à des segments vidéo dans le même environnement où se fait l'édition vidéo. Le résultat de l'ajout de ces annotations à une vidéo en cours d'édition est exporté dans des fichiers de liste d'édition qui sont par la suite traités pour générer des documents multimédias utilisant le format SMIL (World Wide Web Consortium, 2005). Le Laboratoire de recherche en pédagogie du piano est en train de développer, en

collaboration avec le CNRC, des catégories pour annoter des leçons de piano afin de faciliter l'apprentissage et l'enseignement à distance (Brook, 2006). Cette technologie a déjà été appliquée avec succès pour l'indexation de leçons de violon. Cette dernière application comporte une interface en quatre langues, l'anglais, le chinois, le japonais et le français.

Diffusion

Une fois que les annotations ont été produites automatiquement ou manuellement aux étapes du tournage et du montage, elles doivent être compilées et intégrées pour produire des documents multimédias. À l'étape de diffusion, les documents vidéo ont été finalisés et ils sont prêts à être livrés par des serveurs vidéo. Cependant, il reste que les usagers qui visionnent les documents peuvent aussi contribuer à enrichir ces documents en les annotant. Une application Web, servant d'interface avec les serveurs vidéo, peut permettre à l'élève et au professeur de piano, ainsi qu'au chercheur en pédagogie du piano d'apporter leur contribution et de discuter du contenu des documents audiovisuels. Le serveur d'annotations vidéo (Emond et Brooks, 2003 ; Emond et al., 2001) permet aux usagers qui consultent un répertoire de ressources vidéo d'ajouter des annotations textuelles. Cette application a été utilisée dans le cadre de deux projets impliquant plusieurs commissions scolaires à travers le Canada. Le premier projet, LearnCanada (www.learncanada.ca), portait sur le développement professionnel d'enseignants, alors que le second, MusicGrid (www.musicgrid.ca), cherchait à soutenir les programmes de musique à l'aide de la vidéoconférence et des réseaux à larges bandes passantes (Masum, Brooks et Spence, 2005).

CONCLUSION

Cet article a présenté une partie des recherches effectuées au Laboratoire de recherche en pédagogie du piano, en collaboration avec le Conseil national de recherches Canada (CNRC). L'objectif de cette collaboration est de mettre au point des technologies de communication vidéo qui faciliteront l'étude systématique d'une vaste gamme de modalités de téléapprentissage du piano, en mettant à profit le travail déjà réalisé en matière de téléconférences à large bande, de serveurs vidéo et outils pour l'apprentissage assisté par vidéo. L'utilisation de la vidéo comme soutien à l'apprentissage peut exploiter davantage les possibilités de la vidéo numérique. Plus particulièrement, la possibilité d'enrichir le contenu audiovisuel par l'ajout d'annotations et de métadonnées joue un rôle essentiel pour la gestion des médias, l'accès et la recherche de documents pertinents. Ainsi, l'indexation de leçons de piano, en y ajoutant des annotations, permet d'accéder à des segments particuliers de vidéos à partir de divers critères de recherche comme le type d'intervention pédagogique, une séquence de notes jouée au piano, le geste technique, ou même la qualité expressive du jeu musical.

Un autre aspect important de l'utilisation généralisée d'annotations de la vidéo est qu'elle ouvre la possibilité d'accéder aux mêmes documents multimédias dans plusieurs contextes. Les annotations peuvent s'appliquer à un contexte d'apprentissage, où l'élève peut accéder à des séquences vidéo contenant des instructions spécifiques, en compléments des leçons reçues en face à face ou à distance. Au stade initial de sa formation, l'élève peut aussi utiliser la vidéo comme modèle pour acquérir certains gestes techniques, ou réviser le doigté d'un segment d'une pièce musicale. Les annotations peuvent aussi soutenir le contexte d'enseignement, où l'enseignant peut accéder à des séquences vidéo lors de leçons à titre d'exemple, où à des fins de développement professionnel pour comparer ses interventions pédagogiques à celles répertoriées dans la base de données multimédias, ou ajouter des commentaires à une vidéo. Finalement, les annotations peuvent être utiles dans un contexte de recherche sur la pédagogie du piano, où le chercheur peut comparer les interventions pédagogiques et ajouter des annotations caractérisant les situations d'enseignement et d'apprentissage, et ce, afin d'exploiter le potentiel de la vidéo pour analyser et comprendre l'apprentissage non seulement en fonction de ses productions mais du processus (Constantinou et Papadouris, 2004).

Références

- Blisset, G. et Atkins, M. (1993). « Are they thinking? Are they learning? A study of the use of interactive video ». *Computers and Education*, 21 (1) : 31-39.
- Brook, J. (2006). *The development of an asynchronous video reference database to support Suzuki piano instruction*. Communication présentée lors de la Graduate Music Students' Association (GMSA) Conference, Université d'Ottawa.
- Broyles, J. W. (1997). « Effects of videotape analysis on role development of student teachers in music ». Thèse de doctorat (Ph.D.) non publiée, Université d'Oklahoma.
- Comeau, G., Brooks, M. et Spence, J. (2004). *Video and broadband video conference in professional development*. Communication présentée lors de la Biennial Conference of the International Consortium for Educational Development (ICED), Université d'Ottawa.
- Constantinou, C. P. et Papadouris, N. (2004). « Potential contribution of digital video to the analysis of the learning process in physics: a case study in the context of electric circuits ». *Educational research and Evaluation*, 10 (1) : 21-39.
- Dublin Core Metadata Initiative. (2004). *Dublin Core metadata element set, version 1.1: reference description* [en ligne]. <http://dublincore.org/documents/dces/>
- Emond, B. et Brooks, M. (2003). « The Private Video Sharing and Annotation Server: A broadband application for teacher training and music education ». Communication présentée lors de la International Lisp Conference, New York, NY.
- Emond, B., Brooks, M. et Smith, A. (2001). « A broadband web-based application for video sharing and annotation ». *Proceedings of Ninth International ACM Conference on Multimedia*, p. 603-604.
- Fung, V. (1998). « Effect of video presentation on asian music perceptual dimensions ». *Psychology of Music*, 26 (1) : 61-77.
- Geißler, J. (1995). « Surfing the movie space: advanced navigation in movie-only hypermedia ». Communication présentée aux Proceedings of the 3rd ACM International Multimedia Conference (Multimedia 95), San Francisco, CA.
- Gorodnichy, D. O. et Yogeswaran, A. (2006). « Detection and tracking of pianist hands and fingers ». Communication présentée aux Proceedings of the Canadian Conference Computer et Robot Vision (CRV'06), Québec, Canada.

- Guadagnoli, M., Holcomb, W. et Davis, M. (2002). « The efficacy of video feedback for learning the golf swing ». *Journal of Sports Sciences*, 20 (8) : 615-622.
- Hill, R., Hooper, C. et Wahl, S. (2000). « Look, learn, and be satisfied: video playback as a learning strategy to improve clinical skills performance ». *Journal for Nurses in Staff Development*, 16 (5) : 232-239.
- Horn, R. R., Williams, M. A. et Scott, M. A. (2002). « Learning from demonstrations: the role of visual search during observational learning from video and point-light models ». *Journal of Sports Sciences*, 20 (3) : 253-269.
- Hunter, J. et Newmarch, J. (1999). « An indexing, browsing, search and retrieval system for audiovisual libraries ». *Lecture Notes in Computer Science*, 1696 : 76-91.
- International MIDI Association (1983). *MIDI Musical Instrument Digital Interface Specification 1.0*. Los Angeles, CA : International MIDI Association.
- International MIDI Association. (1988). *Standard MIDI Files 1.0*. Los Angeles, CA : International MIDI Association.
- JTC1/SC29/WG11, I. I. (2002). *MPEG-4 Overview - (V.21 – Jeju Version)* [en ligne]. <http://www.chiariglione.org/mpeg/standards/mpeg-4/mpeg-4.htm>
- JTC1/SC29/WG11, I. I. (2004). *MPEG-7 Overview (version 10)* [en ligne]. <http://www.chiariglione.org/mpeg/standards/mpeg-7/mpeg-7.htm>
- Laurillard, D. (1995). *Rethinking university teaching*. London : Routledge.
- Learning Technology Standards Committee. (2002). *IEEE Standard for Learning Object Metadata (1484.12.1-2002)* [en ligne]. <http://ieeeltsc.org/wg12LOM/>
- Masum, H., Brooks, M. et Spence, J. (2005). « MusicGrid: A case study in broadband video collaboration ». *First Monday*, 10 (5).
- Schroeter, R., Hunter, J. et Kosovic, D. (2004). « The FilmEd Project - Collaborative annotation and discussion tools for film/video over broadband networks ». Communication présentée lors de la 10th International Multimedia Modelling Conference MMM2004, Brisbane, Australia.
- Shephard, K. (2003). « Questioning, promoting and evaluating the use of streaming video to support student learning ». *British Journal of Educational Technology*, 34 (3) : 295-308.

- Snoek, C. G. M. et Worrying, M. (2005). « Multimodal video indexing: a review of the state-of-the-art ». *Multimedia Tools and Applications*, 25 : 5-35.
- Stigler, J. W., Gonzales, P., Kawanaka, T., Knoll, S. et Serano, A. (1999). *The TIMSS videotape classroom study: methods and findings from an exploratory research project on eighth-grade mathematics instruction in Germany, Japan, and the United States*. Washington : National Center for Education Statistics Report, US Department of Education.
- Urdang, E. (1999). « The video lab: mirroring reflections of self and the other ». *Clinical Supervisor*, 18 (2) : 143-165.
- Wagner, M. J. et Brick, J. S. (1993). « Using karakoe in the classroom ». *Music Educators Journal*, 79 (7) : 44-46.
- World Wide Web Consortium. (2005). *Synchronized Multimedia Integration Language (SMIL 2.0)* [en ligne]. <http://www.w3.org/TR/2005/REC-SMIL2-20050107/>
- Yeung, M.M. et Yeo, B. L. (1997). « Video visualization for compact presentation and fast browsing of pictorial content ». *IEEE Transactions on Circuits Systems and Video Technology* 7 : 771-785.
- Zhang, D. et Nunamaker, J. F. (2004). « A natural language approach to content-based indexing and retrieval for interactive e-learning ». *IEEE Transactions on Multimedia*, 6 (3) : 450-458.

LES TECHNOLOGIES DE L'IMAGERIE AU SERVICE DE L'ANALYSE DU MOUVEMENT EN PÉDAGOGIE DU PIANO*

Pierre Payeur, Martin Côté

École d'ingénierie et de technologie de l'information, Université d'Ottawa

Gilles Comeau

Faculté de musique, Université d'Ottawa

Résumé

L'enseignement du piano est une activité complexe combinant la technique, la cognition et l'expression artistique dans un cheminement visant à développer des aptitudes psychomotrices très raffinées. Les méthodes traditionnelles d'enseignement qui sont toujours en pratique aujourd'hui font peu appel à la technologie, et ce malgré son évolution au cours du dernier siècle. Il y a toutefois lieu de croire que la mise au point d'instruments de mesure adaptés à la pratique du piano pourrait contribuer à un apprentissage plus efficace pour un plus grand nombre d'élèves et à la prévention de nombreuses blessures en évitant la répétition de gestes inadéquats, notamment pendant les longues heures de répétition requises pour atteindre la maîtrise technique de l'instrument.

Cette publication propose une revue historique et technique des méthodes d'évaluation du mouvement dans le contexte spécifique de la pédagogie du piano. Les techniques d'imagerie par ordinateur sont plus spécialement examinées puisqu'elles sont parmi les seules à offrir la possibilité d'éliminer toute interférence avec le pianiste. Les technologies les plus avancées dans le domaine sont mises à l'épreuve dans un contexte où les contraintes imposées sur l'environnement et les individus doivent demeurer minimales. Un ensemble de résultats expérimentaux sont présentés et analysés pour mettre en lumière les avantages et les limitations des méthodes actuelles et une stratégie innovatrice de segmentation des séquences vidéo est proposée comme une composante fondamentale d'un dispositif informatisé d'assistance à l'enseignement du piano.

INTRODUCTION

En dépit des efforts déployés au cours du dernier siècle pour mesurer et analyser les mouvements complexes effectués par les musiciens et les athlètes, l'ère de l'informatique et de l'intelligence artificielle n'a toujours pas réussi à proposer des techniques suffisamment flexibles pour opérer sans contraintes dans les environnements dans lesquelles ces performances sont exécutées. Les outils couramment utilisés par les

* Les auteurs désirent remercier l'Université d'Ottawa pour le support financier fourni par l'entremise du Programme de développement d'initiatives interdisciplinaires ainsi que le Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada qui ont rendu ce travail de recherche possible.

professeurs, entraîneurs et spécialistes de la santé ne peuvent généralement pas fournir une évaluation et une comparaison complète des gestes effectués. Une telle source d'information est pourtant hautement désirable pour mesurer l'évolution des habitudes et des pratiques dans un contexte d'apprentissage ou d'entraînement, afin d'améliorer l'efficacité des efforts déployés et l'exactitude des gestes répétés, et pour détecter et corriger des situations problématiques qui trop souvent dégèrent en blessures chroniques (Comeau, Payeur, Desjardins, Keillor et Bressler, 2004).

Bon nombre des méthodes de mesure usuelles employées en pratique professionnelle dépendent encore massivement de technologies encombrantes qui exigent l'installation de marqueurs ou de câblages sur l'individu dont les mouvements doivent être évalués (Trappe, Parlitz, Katzenberger et Altmüller, 1998 ; Boulic, Silaghi et Thalmann, 2000). Très souvent les mesures doivent aussi être prises dans des environnements parfaitement contrôlés, souvent très différents du milieu avec lequel les individus sont familiers. Ces facteurs ont une influence directe sur l'attitude, les gestes et la performance du sujet et corrompent l'exactitude des données recueillies, en plus de rendre la prise de mesures fastidieuse, difficilement accessible et dispendieuse.

L'objectif des travaux de recherche multidisciplinaires entrepris par notre équipe consiste à mettre à profit les expertises complémentaires de spécialistes en pédagogie du piano et en technologie de l'information afin de contribuer à l'évolution des techniques de mesure du mouvement sur des sujets humains exécutant des tâches complexes, tout en éliminant toute interaction directe avec le sujet. Ces méthodes de mesure sont dites non invasives puisqu'elles éliminent l'interférence créée par les instruments ou l'environnement sur les habitudes et la performance du sujet. Ultiment, les techniques développées doivent permettre à un pianiste de compléter une performance dans son environnement de travail habituel sans devoir porter de marqueurs ou de capteurs quelconques, de sorte que son jeu ne soit nullement influencé par la procédure de mesure en cours. Les données recueillies pendant la performance pourront alors être sauvegardées, analysées, comparées ou transmises à distance afin de permettre une évaluation quantitative ou une reproduction exacte des mouvements.

Ces enregistrements très riches en information trouvent de nombreuses applications pour l'enseignement du piano grâce à la rétroaction directe ou assistée par ordinateur au professeur et à l'élève, le téléapprentissage, la mesure non subjective de l'évolution du mouvement lors de la performance, l'étude approfondie de la gestuelle et de la posture dans l'analyse comparative des styles et des approches techniques, la prévention des pratiques comportant des risques pour la santé, la prévention des blessures, et la réadaptation. Un des objectifs du projet est de mettre au point un assistant à l'enseignement et à l'apprentissage du piano informatisé pouvant interagir en temps réel avec le professeur et l'élève afin de favoriser l'apprentissage et de prévenir le développement de mauvaises habitudes de gestuelle qui peuvent nuire au développement d'une bonne technique et ainsi

affaiblir la performance, et pouvant éventuellement conduire à des blessures graves (Zaza, 1995). Ce même dispositif servira aussi à l'évaluation objective et comparative de la performance technique et fournira une source d'information quantitative pour l'analyse biomécanique du geste dans l'analyse et la prévention des blessures reliées au jeu pianistique.

L'impact social que pourront avoir de tels outils de mesure n'est pas négligeable. La disponibilité de méthodes d'évaluation quantitative peut contribuer directement à l'amélioration continue des méthodes d'enseignement. Ceci pourrait permettre de mieux développer les talents des individus et d'en assurer la pérennité en orientant davantage le processus d'apprentissage vers des approches sécuritaires et moins répétitives. En effet, des études récentes ont démontré que le nombre d'individus souffrant de séquelles permanentes suite à des blessures reliées à la pratique de leur instrument dépasse les 60% chez les musiciens professionnels de formation classique, ce chiffre atteignant même les 45% chez les élèves (Zaza, 1995 ; Bressler, 2000). Les problèmes associés à la posture et aux efforts répétés sont identifiés comme les principales causes de blessures dans une proportion allant jusqu'à 98% des cas (Rogers, 1999 ; Hsu, 1997). Les coûts médicaux et les pertes personnelles associés aux blessures subies par les pianistes sont aussi considérables. Les dépenses encourues pour le traitement (consultations médicales, radiographies, chiropractie, acuponcture, chirurgie) de chaque individu peuvent facilement atteindre plusieurs milliers de dollars, sans compter la perte de talents précieux. Avec plus de 100 000 élèves diplômés chaque année des grandes écoles de musique au Canada et aux États-Unis selon les plus récentes statistiques, la motivation à fournir aux professionnels de la pédagogie et de la santé de meilleurs instruments de mesure et de prévention est évidente. Et encore, ces statistiques ne prennent pas en compte l'impact tout aussi significatif de mauvaises pratiques chez les athlètes amateurs et professionnels, non plus que sur les nombreux travailleurs qui exécutent quotidiennement des tâches répétitives.

Cette publication propose une revue historique et technique des méthodes d'évaluation du mouvement, des motivations ayant conduit à la mise au point d'une panoplie d'outils plus ou moins sophistiqués au cours des siècles et des raisons qui poussent encore les chercheurs d'aujourd'hui à raffiner les méthodes disponibles. Les méthodes d'évaluation par vision artificielle s'imposant de plus en plus dans ce domaine, une évaluation expérimentale des techniques d'imagerie qui sont à la fine pointe de la technologie a été réalisée dans le contexte spécifique de la pédagogie du piano. Les résultats obtenus sont présentés et analysés. Ces derniers permettent de conclure sur le potentiel réel des techniques d'imagerie mais mettent aussi en lumière les limites importantes qui sont imposées par la nécessité de réduire les contraintes sur l'environnement et sur les individus, afin de mettre au point des méthodes de mesure purement et véritablement non invasives.

D'HIER À AUJOURD'HUI – LA MESURE DU MOUVEMENT

Mesurer le mouvement – une longue tradition

Ce besoin de mesurer tant le mouvement que l'effort fourni dans l'exécution d'une oeuvre musicale trouve ses origines aussi loin qu'au début du XX^e siècle alors que différentes études utilisant les moyens techniques de l'époque sont documentées dans la littérature. Les motivations associées à ces études sont diverses, allant de l'étude de la sonorité jusqu'aux évaluations biomécaniques, en passant par l'apprentissage du piano et l'amélioration des performances.

Faisant figure de pionnière en la matière, Marie Jaëll propose dès 1897 une étude approfondie des effets du contact des doigts avec le clavier sur la sonorité produite par un piano (Jaëll, 1897). La répercussion du touché sur l'apprentissage plus ou moins fructueux du piano est revue dans un contexte physiologique suggérant que certains mouvements minimaux mais « bien pensés » et contrôlés produisent de meilleurs effets musicaux qu'un apprentissage mécanique axé principalement sur la répétition. Cette étude visant l'analyse et la compréhension des mouvements des doigts et de la main exploite un système de mesure original basé sur les empreintes digitales. De petites pièces de carton sont placées sur les touches du piano et les doigts du pianiste sont encrés avant la performance afin de laisser des traces plus ou moins nettes sur les cartons en fonction de la pression exercée sur chacune des touches. Une analyse manuelle des courbes et de la largeur des empreintes permettait alors d'évaluer l'angle du toucher et son intensité, conduisant à une évaluation de la sonorité produite en fonction de la position des doigts et des mains du pianiste.

Quelques années plus tard, Otto Ortmann apporte également une contribution majeure à l'examen du fonctionnement et des effets des mécanismes psychologiques associés au jeu pianistique (Ortmann, 1929). Ses études approfondies sur la modélisation de l'anatomie du bras, de la main et des doigts mènent à une analyse quantitative de l'application des forces sur le clavier pour la production sonore. Les lois classiques de la mécanique sont appliquées pour comprendre le mouvement des bras et des mains pendant l'exécution. Cela conduit Ortmann à construire des prototypes mécaniques du bras et de la main humaine ainsi que des instruments de mesure originaux pour enregistrer les déplacements des doigts et des mains ainsi que la dépression des touches du clavier. L'enregistrement des déplacements latéraux est rendu possible grâce à un mécanisme de pantographe attaché par un élastique au poignet du pianiste. Le pantographe reproduit ainsi les mouvements à échelle réduite sur une pièce de papier placée latéralement et en retrait du clavier afin de minimiser les contraintes sur le mouvement. L'appareil nécessite toutefois des réglages minutieux et présente des faiblesses lorsque le poignet du pianiste bouge en profondeur dans le sens des touches du clavier.

Réalisant aussi la nécessité de mesurer des mouvements plus fins et en fonction du temps afin de percevoir les subtilités du jeu, Ortmann conçoit un second appareil de mesure, celui-ci dédié à l'estimation du déplacement des doigts. Ce mécanisme consiste essentiellement en un ensemble de cinq tiges d'aluminium ayant chacune une extrémité attachée à un doigt du pianiste. L'autre extrémité des tiges est placée en contact avec un cylindre rotatif recouvert de papier et sur lequel le mouvement des doigts est reproduit sous forme graphique à mesure que le cylindre tourne à vitesse constante. Comme le mouvement des doigts tend à être vertical alors que le cylindre tourne horizontalement, les variations en vitesse sont mesurées par l'amplitude de la déflexion des pointeurs sur le cylindre. Toutefois, ce mécanisme étant attaché tout près des points de contact des doigts avec le clavier, la résistance mécanique qu'il introduit s'avère problématique et nécessite un ajustement méticuleux pour limiter l'interférence ressentie par le pianiste.

Le développement primitif de ces outils ingénieux a permis de comprendre comment rendre possibles certains mouvements complexes tout en évitant les conditions conduisant à la fatigue musculaire excessive. Quelques décennies plus tard, Schultz poursuit dans la même lignée en utilisant aussi une approche « scientifique » pour étudier le jeu pianistique et l'effet du toucher (Schultz, 1949). Il est intéressant de noter que ces visionnaires signalent déjà dans leurs écrits l'existence d'une certaine réticence de la part des artistes et des professeurs à utiliser des méthodes techniques et scientifiques pour aider à comprendre les processus physiques, physiologiques et psychologiques complexes de l'apprentissage du piano.

Diversité d'instruments et de pratiques – unicité de la problématique

Plus récemment, un nombre impressionnant de stratégies destinées à la mesure des gestes effectués par des artistes (Parlitz, Trappe, Dreschner et Altenmüller, 1999 ; Visentin et Shan, 2003) ou des athlètes (Sullivan, Ericksson et Carlsson, 2002) ont été décrites dans la littérature. Trappe et al. s'intéressent aux mécanismes sensoriels et à la motricité permettant à des percussionnistes d'apprendre des patrons de mouvement répétitifs (Trappe, Parlitz, Katzenberger et Altenmüller, 1998). L'étude est conduite sur des musiciens possédant différents niveaux d'expérience et cherche à identifier des stratégies développées par la répétition des mouvements chez les percussionnistes pour minimiser le mouvement et l'effort tout en améliorant la performance. La mesure des mouvements est concentrée entre l'épaule et l'extrémité de la baguette tenue par la main droite et s'effectue à l'aide d'un dispositif de vision thermographique. Ce système emploie de petits émetteurs de lumière infrarouge qui sont installés sur des points choisis du bras du percussionniste et de la baguette. Un capteur photosensible particulièrement réceptif au signal généré par les émetteurs fournit des images des points lumineux qui doivent ensuite être combinés pour recréer une estimation de la position du bras et de la baguette dans l'espace à trois dimensions. Ce type de capteur par vision active est particulièrement encombrant car

chaque émetteur est relié à une source d'alimentation par un câble. La mise en place du système est également relativement laborieuse.

Lammers et al. étudient pour leur part l'ampleur et la vitesse des mouvements du bras droit effectués par des trombonistes professionnels et des élèves, avec l'objectif de contribuer à la compréhension des mécanismes du jeu du trombone et à l'amélioration des méthodes pédagogiques reliées à cet instrument (Lammers, Kruger, Stoner, Fuller et Allyn, 1996). Afin de mesurer les mouvements du bras et du trombone, diverses technologies sont combinées. La coulisse du trombone est dotée d'un vernier mesurant le déplacement, la vitesse et l'accélération de la pièce mobile de l'instrument. Un marqueur circulaire est aussi attaché à l'extrémité de l'instrument et ses déplacements sont estimés par un détecteur de mouvement infrarouge. Des capteurs magnétiques sont attachés sur le bras du tromboniste pour mesurer les changements relatifs dans la position du coude et du poignet. Finalement, la technique d'électromyographie de surface est employée pour mesurer l'activité musculaire du musicien. La combinaison d'autant de capteurs procure une quantité d'information inégalée mais ajoute à l'encombrement imposé au musicien. Une bonne part des mesures du mouvement étant fournie par les capteurs montés sur l'instrument, la pose du bras doit alors être interpolée à partir de mesures indirectes, ce qui tend à réduire la précision des données.

Tarabella et al. proposent une façon originale de générer de la musique électroniquement en suivant le rythme imposée par les mouvements d'un chef d'orchestre (Tarabella, Carosi et Bertini, 1994). Dans un premier temps, le chef d'orchestre tient une baguette dotée d'une pointe lumineuse qui est perçue par une caméra vidéo. La marque lumineuse laissée sur l'image est extraite, ce qui permet d'estimer le déplacement latéral et vertical de la baguette et ainsi d'en extraire le rythme. Dans une seconde expérience, le chef d'orchestre porte des gants réflecteurs qui réagissent particulièrement bien à la lumière d'un projecteur dirigé vers le chef d'orchestre. Ces gants produisent des marques claires dans les images prises par une caméra vidéo, rendant l'extraction des mains relativement aisée.

Ces expériences illustrent une approche très répandue en imagerie par ordinateur où des marqueurs ou des pièces de vêtement très contrastant avec le reste de l'environnement sont manipulés ou portés par les individus dont on veut mesurer les mouvements. Ce type de solution peut fournir de bons résultats dans des environnements bien contrôlés, mais seulement à la condition que les participants puissent et acceptent de travailler avec ces éléments imposés. L'objectif principal de la présente recherche vise à éliminer ces contraintes, de sorte que le mouvement d'un individu puisse être mesuré librement, peu importe l'instrument considéré ou la fonction exercée.

Méthodes de mesure modernes

Les techniques de mesure du mouvement humain décrites dans les exemples précédents et les méthodes couramment employées en pratique professionnelle tendent encore à être très restrictives, invasives et encombrantes étant donné que la majorité d'entre elles exigent la mise en place de marqueurs réfléchissants ou de capteurs câblés sur l'individu. De tels appareils imposent des limites physiques sur le sujet, ne sont pas confortables et impliquent une période de préparation relativement longue pour la mise en place. Le système *VICON* (Vicon Peak, 2005 ; Jobbagy, 2004) bien connu dans le milieu médical pour l'étude de la démarche humaine, et particulièrement utile en réadaptation et en orthothérapie, est un excellent exemple. Il utilise une approche dite de vision active qui consiste à installer de petites billes réfléchissantes en des points sélectionnés sur l'individu et à filmer leurs déplacements à l'aide de caméras vidéo dont les lentilles sont entourées de diodes photoémettrices dont le signal se réfléchit particulièrement bien sur les billes. Cette stratégie élimine le besoin de câblage directement attaché au patient mais limite l'observation aux points marqués par les billes qui doivent être installées préalablement. Palmer et al. ont fait appel à ce type de dispositif pour étudier la gestuelle et le processus d'acquisition de la technique dans le cas du jeu pianiste (Palmer et Drake, 1997 ; Palmer et Pfordresher, 2000). Une variante passive et beaucoup plus économique de cette approche est illustrée par Drouin et al. qui mesurent les mouvements d'un sujet vêtu d'une combinaison noire sur laquelle des balles de couleur orange sont attachées (Drouin, Hébert et Parizeau, 2003). Une caméra couleur standard permet alors de suivre le déplacement des balles hautement contrastantes avec la combinaison.

Lorsque de tels marqueurs ponctuels sont utilisés, la stratégie habituelle consiste à tenter de retrouver la position dans l'espace de chacun des membres du sujet en comparant la projection des marqueurs sur l'image avec les points qui résulteraient du mouvement d'un squelette virtuel sur lequel les marqueurs seraient installés aux mêmes endroits (Albrecht, Haber et Seidel, 2003). Des modèles cinématiques du squelette humain sont alors définis afin de simuler toutes les positions possibles de l'individu et de retrouver celle qui correspond le mieux à sa situation actuelle telle que perçue dans l'image des marqueurs. Malheureusement, le fait que les marqueurs soient attachés aux vêtements, ou au mieux à la peau de l'individu, produit des déplacements qui ne correspondent pas exactement aux mouvements du squelette. Une certaine déviation entre la mesure du mouvement estimé et le déplacement réel est ainsi introduite (Boulic, Silaghi et Thalmann, 2000).

Une étude récente des méthodes classiques d'imagerie par ordinateur pour l'évaluation du mouvement humain a démontré que les techniques cherchant à détecter des points de repère directement sur le sujet sans employer de marqueurs fonctionnent bien dans des environnements contrôlés offrant une arrière-scène uniforme (Wang et Singh, 2003). Les recherches actuelles visent à étendre ces méthodes de détection à des environnements non contraints où l'arrière-scène n'aura pas à être de couleur uniforme, où l'éclairage pourra

varier d'une région à l'autre de l'espace et où le sujet n'aura pas à porter de vêtements d'une couleur spécifique. La présente recherche s'inscrit dans ce contexte et vise à fournir au domaine de la pédagogie du piano des outils opérationnels qui élimineront les contraintes couramment imposées sur la liberté et l'étendue des mouvements du musicien tout en minimisant les manipulations requises par le professeur et l'élève pour la mise en place et l'opération du système de mesure.

SUR LA PISTE DES MÉTHODES DE MESURE NON INVASIVES

Les défis

Parmi les techniques de mesure du mouvement considérées à ce jour dans la littérature, les approches basées sur l'imagerie passive se révèlent clairement être les moins invasives puisqu'elles permettent de capter le mouvement tout en gardant l'équipement à distance de l'individu. Pour être à la fois efficaces et utiles ces technologies doivent par contre pouvoir s'adapter aux caractéristiques de l'environnement dans lequel elles sont appelées à opérer. Dans une application en pédagogie du piano, tel que considéré dans le cadre de cette recherche, le dispositif idéal doit être en mesure de fonctionner dans divers lieux d'enseignement et de pratique aux caractéristiques différentes, notamment le studio d'enseignement et la salle de répétition, mais aussi la résidence de l'élève où la majorité des heures de pratique ont lieu. La figure 1 illustre la configuration typique d'un système étendu tel que proposé pour un studio d'enseignement. Le dispositif compte deux caméras disposées de part et d'autre du clavier pour estimer le mouvement des bras et des mains en élévation et en profondeur, une caméra au-dessus du clavier pour mesurer le déplacement latéral et une dernière caméra située à l'arrière du pianiste pour évaluer la posture du dos et de la tête. Le dispositif vise à permettre l'extraction des membres du sujet afin d'en déterminer la pose dans l'espace tridimensionnel grâce à une recherche des intersections entre les contours des zones d'intérêt perçues par chacune des caméras. Une version simplifiée mesurant un ensemble de paramètres restreint est envisagée pour des applications résidentielles.

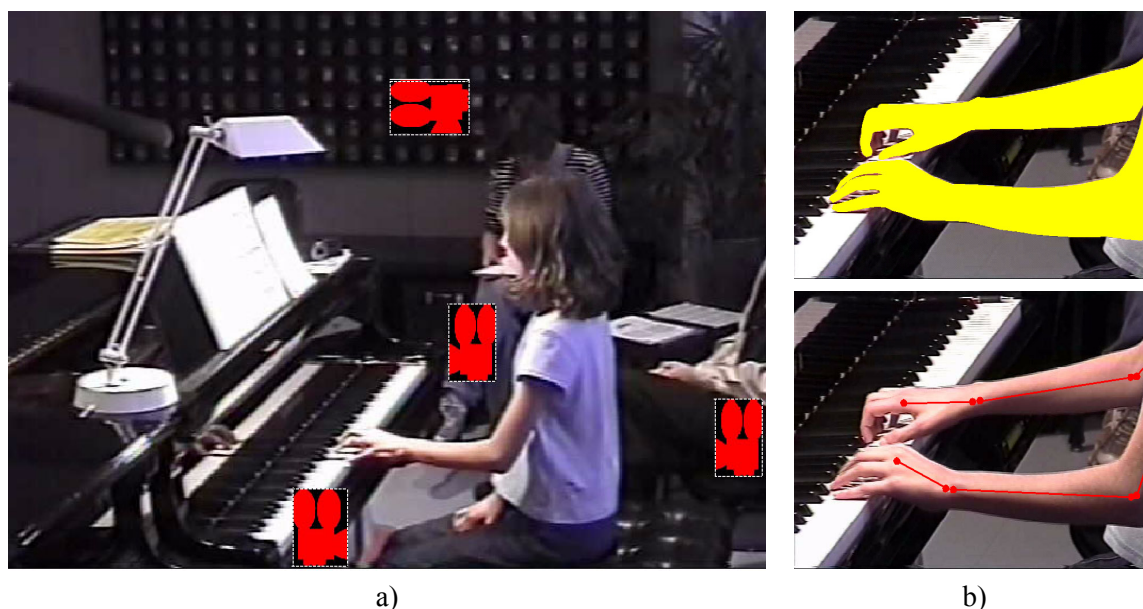


FIGURE 1. a) Configuration du dispositif d'imagerie pour la mesure du mouvement et b) extraction des régions occupées par la pianiste dans la vue prise à partir du côté gauche

Dans un tel contexte les principaux éléments à prendre en compte sont donc : la capacité d'opérer dans des environnements changeants où l'arrière-scène est de couleur quelconque et contient un ou plusieurs objets de couleur et de forme variées ; la capacité de détecter les membres du pianiste et d'en mesurer le déplacement sans imposer le port de vêtements ou de marqueurs spécifiques ; une mise en place simple et rapide nécessitant un minimum de connaissances techniques ; l'utilisation d'équipements abordables, tel que des caméras couleur standards largement disponibles sur le marché et un ordinateur de puissance moyenne. La nécessité de se limiter à des équipements peu dispendieux élimine aussi tout recours aux capteurs sophistiqués présentés précédemment et impose que l'effort de traitement soit concentré au niveau algorithmique. Une telle flexibilité implique le développement de méthodes de traitement des images et d'estimation de la pose des membres qui soient très robustes à de nombreux paramètres comme le montre la figure 2 où l'éclairage, les vêtements, la complexité de l'arrière-scène et les ombrages ne doivent pas interférer avec la détection des membres du pianiste.

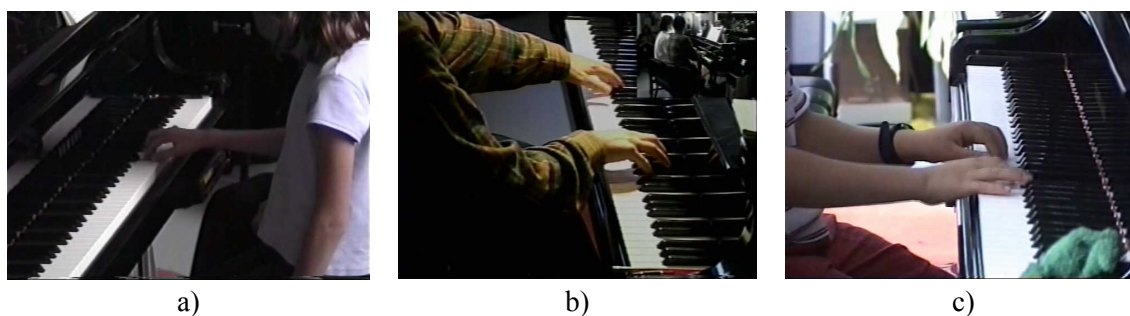


FIGURE 2. Conditions difficiles dans lesquelles un système typique doit opérer : a) éclairage non uniforme ; b) objets de couleurs complexes ; c) arrière-scène encombrée et ombrages

Nos expériences préliminaires basées sur les méthodes classiques de traitement des images ont démontré que ces approches ne répondent absolument pas aux exigences complexes de l'application en pédagogie du piano. Les méthodes de base de segmentation des images, c'est-à-dire la mise en évidence du sujet dans une image par rapport à l'arrière-plan, reposent sur l'observation et la reconnaissance de couleurs ou de niveaux d'intensité lumineuse caractérisant la ou les régions d'intérêt dans l'image, dans notre cas la partie supérieure du corps et les bras du pianiste. Une identification guidée manuellement par un opérateur permet d'estimer les paramètres chromatiques (couleurs) et d'intensité d'un ou de plusieurs groupes de pixels (points dans l'image) appartenant au pianiste. L'algorithme de segmentation automatisé se limite alors à rechercher dans le reste de l'image les pixels ayant approximativement les mêmes caractéristiques et les identifient comme appartenant au sujet alors que les pixels dont l'intensité ou la couleur diffèrent sont classifiés comme faisant partie de l'arrière-scène.

Ces méthodes peuvent être raffinées en incluant un mode de poursuite du mouvement lorsqu'elles sont appliquées sur des séquences vidéo. La position future des pixels d'intérêt est alors anticipée à partir de l'hypothèse que les mouvements sont continus dans l'espace. Les régions où devraient se retrouver les membres du pianiste dans les images futures sont calculées à partir de l'historique récent des déplacements. Ceci permet d'accélérer la recherche des pixels d'intérêt sans avoir à balayer la totalité de l'image. Dans tous les cas, les techniques de segmentation recherchées doivent aussi fournir une résolution suffisamment élevée pour permettre la reconstruction en trois dimensions, c'est-à-dire le calcul des régions occupées par le sujet dans l'espace (Cheung, Baker et Kanade, 2003), tout en demeurant stables face à des variations considérables de l'éclairage, des textures et des couleurs, des ombrages et des déplacements.

C'est sur cette base que nous avons entrepris d'analyser, de comparer et de raffiner des techniques de traitement des images à la fine pointe de la technologie afin de surmonter les nombreux défis présentés par l'application de la vision artificielle dans un contexte bien

réaliste qu'offre la pratique du piano. Malgré l'évolution considérable de la science en intelligence artificielle, bien peu de travaux se sont encore penchés sur le développement de systèmes pouvant travailler dans des environnements aussi peu contrôlés et sans imposer de contraintes spécifiques sur le sujet. La prochaine section passe en revue les méthodes modernes de segmentation qui ont été considérées jusqu'à maintenant alors qu'une section subséquente propose une analyse comparative expérimentale de ces méthodes dans le contexte spécifique de la pédagogie du piano.

Analyse des technologies de vision par ordinateur de pointe

Parmi les méthodes les plus récentes proposées dans la littérature, les filtres probabilistes basés sur les caractéristiques chromatiques de la peau et la technique des combinaisons de distributions gaussiennes offrent des approches relativement simples pour éliminer certaines contraintes imposées sur l'uniformité de l'arrière-scène. Malheureusement, elles comportent aussi des limitations importantes pour la poursuite dynamique des membres dans des séquences d'images, ce qui réduit leur potentiel. Face à ces constatations, nous avons initié une nouvelle direction de recherche qui vise à combiner deux autres techniques modernes connues sous les noms de *Continuous Adaptive Mean Shift* et *Receptive Field Histograms*, afin de permettre la détermination de caractéristiques invariantes dans une image qui peuvent ensuite être recherchées dans les images subséquentes d'une séquence vidéo avec plus de stabilité. Nos premières expériences ont démontré que cette technique combinée offre une bonne robustesse aux variations d'éclairage, à la couleur des vêtements, ainsi qu'aux déplacements. Cette solution ouvre la voie à un système d'analyse des images robuste, capable d'opérer à partir d'un ensemble de capteurs visuels passifs par rapport au sujet et réduisant les contraintes à imposer sur l'environnement. Les principes d'opération de ces techniques sont ici résumés.

Filtres probabilistes basés sur les caractéristiques chromatiques de la peau

La première approche analysée dans le but de déterminer visuellement la posture d'un pianiste est similaire aux approches chromatiques classiques décrites précédemment mais se spécialise sur l'identification et la détection des couleurs dominantes faisant partie d'un individu. Les couleurs sont considérées comme étant une propriété importante des objets. Il peut donc être avantageux d'en tirer profit dans la mesure où elles demeurent constantes peu importe les transformations physiques effectués par un objet (Bayoumi, Fouad et Shaheen, 2003). En d'autres mots, si un objet est soumis à une rotation, une translation ou à une déformation dans l'espace, ses couleurs demeurent approximativement identiques du point de vue d'une caméra. Plusieurs techniques tirent avantage de ceci pour pouvoir identifier les humains à partir de la couleur de leur peau. Évidemment, une telle approche n'est applicable que dans la mesure où une surface de peau suffisante est exposée au

champ de vision de la caméra, ce qui peut s'avérer intéressant pour la détection des mains et des bras mais s'avère moins pratique pour le reste du corps.

Du et Li (2000) ont exploité la couleur de la peau pour réaliser une interface machine pouvant reconnaître certains gestes humains. Jones et Rehg (1999) ont conçu des filtres probabilistes pour la détection de site Web contenant potentiellement des photographies pornographiques. L'application de ce type de filtres a aussi été introduite dans le contexte de l'indexage d'images et l'identification de la présence d'êtres humains (Bayoumi, Fouad et Shaheen, 2003). Dans toutes ces recherches, les auteurs ont identifié plusieurs difficultés associées avec la segmentation des couleurs. Les ombrages, l'imprécision des capteurs, la direction et la couleur de l'éclairage influencent tous la représentation des couleurs d'un objet (Sigal, Scarloff et Athitsos, 2004). Par conséquent, une couleur est rarement représentée par des valeurs constantes sur toute la durée d'une séquence vidéo. Afin de pouvoir gérer les changements de couleurs, l'environnement doit aussi être considéré.

Les images numériques étant souvent représentées comme une combinaison de valeurs trichromatiques, typiquement le rouge, le vert et le bleu, il est possible de limiter l'influence des variations de l'éclairage sur une image en utilisant une base trichromatique plus appropriée telle qu'un encodage de type YCrCb (Yang, Lu et Waibel, 1998). Dans ce mode de représentation des couleurs, les valeurs Cr et Cb représentent la couleur et Y indique le niveau auquel une couleur est éclairée, c'est-à-dire la luminosité d'un objet. En utilisant une telle représentation, les changements aux valeurs Y ont un impact minimal sur la couleur d'une scène. Les principales sources de variation dans la couleur de la peau se limitent alors aux erreurs engendrées par les capteurs et à la pigmentation naturelle des individus.

Il est possible de représenter la couleur d'un pixel d'une image par sa probabilité d'être localisé dans une région correspondant à de la peau. Le modèle probabiliste gaussien, illustré à la figure 3 est généralement adéquat pour prendre en compte les variations possibles sur les caractéristiques chromatiques de la peau résultant de la prise d'image par une caméra et de la pigmentation. La courbe gaussienne indique la probabilité que la valeur des paramètres d'un pixel corresponde en effet à une couleur de peau. La courbe est centrée sur la couleur considérée idéale, c'est-à-dire la plus représentative de la peau du sujet et s'étend sur une gamme de couleurs dites acceptables.

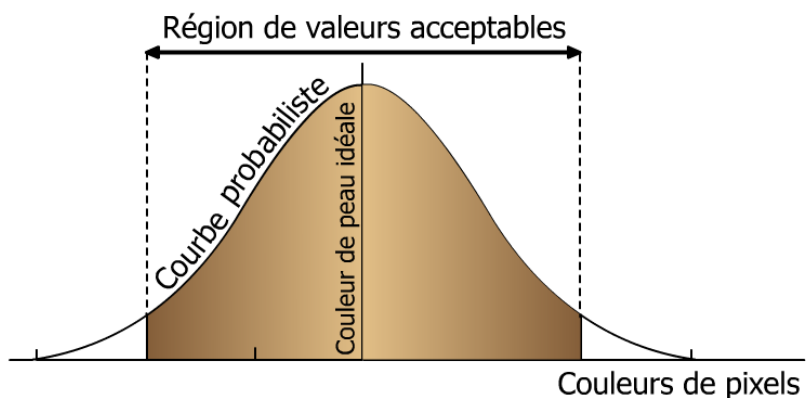


FIGURE 3. Distribution probabiliste de la couleur de peau humaine

La principale limitation de cette technique provient du besoin d'initialiser le modèle probabiliste. Une séquence vidéo a le potentiel de contenir une gamme de couleurs de peau mesurées sous différentes conditions environnementales. Afin de pouvoir opérer de manière fiable, le système doit avoir une connaissance préalable des couleurs dans une séquence vidéo, ou doit être assisté par un opérateur qui identifie un échantillon représentatif. Dans une scène de complexité arbitraire, il se peut que plusieurs objets aient une couleur similaire à la peau humaine. Sans un modèle très précis, le système n'arrive pas à bien classifier les objets. Ses performances souffrent donc des mêmes limitations que les méthodes de segmentation chromatique classiques lorsqu'elle est appliquée à l'analyse du mouvement chez les pianistes.

Combinaison de distributions gaussiennes

Une extension possible à la méthode des filtres probabilistes pour la détection de la peau consiste à produire une segmentation plus complète du sujet en introduisant la capacité d'identifier non seulement les sections de peau mais toutes les composantes d'un individu. Une classe importante d'algorithmes de segmentation tente de classifier les pixels d'une image comme faisant partie de l'avant ou de l'arrière-scène à l'aide d'un mélange de distributions gaussiennes. Plutôt que de limiter la description de la chromaticité des zones d'intérêt dans les images à une seule distribution probabiliste centrée autour de l'unique couleur recherchée, Stauffer et Grimson (1999) ont proposé de combiner plusieurs distributions gaussiennes qui permettent d'identifier une plus large gamme de couleurs. Ces travaux sont à la base de plusieurs applications reliées à la poursuite des mouvements du corps humain (Wren, Azarbayejani, Darrell et Pentland, 1997) et à l'apprentissage d'activités dans le contexte de la surveillance de la circulation automobile (Stauffer, et Grimson, 2000).

La technique proposée implique que chaque pixel d'une image soit représenté par une ou plusieurs distributions probabilistes gaussiennes. Ceci contraste avec la technique précédente qui attribuait seulement une distribution pour la totalité de l'image. L'initialisation des distributions probabilistes est effectuée à partir du contenu de la première image d'une séquence, c'est-à-dire que la première couleur de chaque pixel définit le centre d'une courbe gaussienne distincte qui s'étend le long d'une région de couleurs arbitraires. Stauffer et al. ont pris en compte le fait que certains pixels de l'arrière-scène peuvent présenter des comportements complexes par rapport à leur couleur. Par exemple, un pixel représentant un feu de circulation peut potentiellement prendre la couleur verte, jaune ou rouge. L'algorithme attribue donc aux pixels une distribution gaussienne pour chaque région de couleur distincte tel qu'illustré à la figure 4.

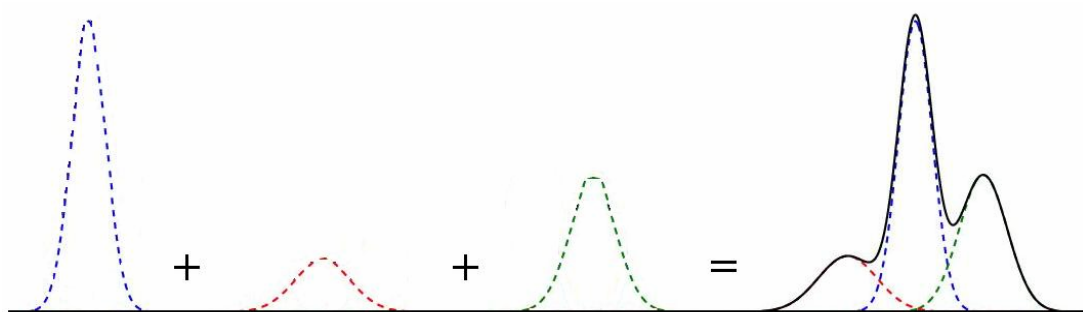


FIGURE 4. Comportement des pixels représenté par un mélange de distributions gaussiennes

Pour chaque image d'une séquence vidéo, le système recherche des distributions gaussiennes qui décrivent le mieux la valeur courante des pixels. Cette recherche s'effectue parmi la liste des distributions associées à chaque pixel. Si la recherche est concluante, la distribution est raffinée afin de mieux intégrer les caractéristiques chromatiques courantes, sinon une distribution supplémentaire est ajoutée à la liste du pixel en question. Le système fait l'hypothèse que les couleurs de l'arrière-scène demeurent plus ou moins constantes. Chaque fois qu'une distribution probabiliste est associée à un pixel lors de l'analyse d'une image, une mesure de correspondance est attribuée à la distribution. En d'autres termes, plus souvent un pixel est représenté par une même distribution, plus il est probable que cette distribution probabiliste représentant une couleur spécifique soit classifiée comme faisant partie de l'arrière-scène. Les distributions associées aux objets en mouvement ont une mesure de correspondance moins élevée puisque les pixels de l'image y sont associés moins fréquemment. Les publications récentes de Horprasert, Hardwood et Davis (2000) ainsi que celle de Atev, Masoud et Papanikolopoulos (2004) proposent de nouveaux mécanismes qui prennent aussi en considération les effets d'ombrage et les changements d'éclairage.

En dépit des gains considérables réalisés par rapport à la recherche de caractéristiques chromatiques uniques, l'utilisation des combinaisons de distributions gaussiennes comporte plusieurs désavantages pour une application en pédagogie du piano. En effet, dans des séquences vidéo montrant des pianistes, les mouvements effectués par le dos et le torse de l'individu peuvent être très subtils. L'amplitude réduite de ces mouvements fait en sorte que ces régions, potentiellement importantes pour l'analyse de la gestuelle, ont tendance à être considérées comme faisant partie de l'arrière-scène. De plus, puisque le système est généralement initialisé avec un individu déjà présent dans la scène, le système n'a pas l'opportunité d'apprendre les caractéristiques de la partie de l'arrière-scène qui est cachée par le pianiste. Lorsque des mouvements plus brusques ou de plus grande ampleur sont produits, des régions d'arrière-scène subitement révélées à la caméra sont souvent faussement classifiées comme faisant partie de l'avant-scène puisque leurs caractéristiques correspondent à de nouvelles distributions gaussiennes non présentes dans le modèle ou peu visitées pendant les phases de recherche précédentes.

Technique du « Continuously Adaptive Mean-Shift »

De nombreux travaux de recherche rapportés dans la littérature tendent à démontrer que dans l'application des procédés de bas-niveau en vision artificielle des informations de plus haut niveau doivent souvent être employées pour guider le traitement (Comaniciu et Meer, 2002). Dans le cadre du développement de méthodes non invasives de mesure du mouvement pour la pédagogie du piano, ceci suggère que les algorithmes tentant de classifier ce qui appartient à l'avant et à l'arrière-scène en ne considérant que les caractéristiques chromatiques ne soient pas appropriés. Étant donné la complexité de la scène et l'absence souhaitable de contraintes sur l'environnement et le pianiste, il semble plus prometteur de rechercher aussi une description géométrique des objets d'intérêt et de segmenter les images à partir de ces informations.

Tel que démontré précédemment, les images et leurs couleurs peuvent facilement être décrites en fonction de modèles probabilistes. L'algorithme du *Mean-Shift* introduit par Comaniciu et Meer (2002) considère les couleurs comme étant une représentation probabiliste d'une image et permet à une fenêtre (en l'occurrence un groupe de pixels délimitant une région dans l'image) de converger et de s'adapter à la forme d'une distribution quelconque, un membre du pianiste par exemple. Avec l'assistance d'un opérateur humain, l'algorithme peut être initialisé à partir d'une approximation des distributions autour desquelles il doit converger. L'algorithme du *Mean-Shift* a déjà été exploité dans des systèmes de poursuite d'objets dans des images (Comaniciu, Ramesh et Meer, 2002) et de détection de navires (Tek, Comaniciu et Williams, 2001).

Les variations subies par les couleurs peuvent s'opérer de façon subtile ou apparaître graduellement dans une séquence vidéo. L'algorithme du *Mean-Shift* a été adapté par les chercheurs de la compagnie Intel afin de pouvoir répondre à ces variations (Bradski, 1998).

Le nouvel algorithme résultant de leurs travaux se nomme le *Continuously Adaptive Mean-Shift (CAMSHIFT)*. Cette approche débute en définissant une fenêtre sur les régions identifiées par un opérateur. Après avoir complété cette convergence autour de la zone d'intérêt, la fenêtre de chaque région s'oriente et s'agrandit en fonction de la distribution des couleurs. Lorsqu'une nouvelle image est présentée au système, l'algorithme prend en considération les modèles probabilistes représentant les régions de convergence précédentes. En considérant ces nouvelles valeurs, l'algorithme *CAMSHIFT* adapte sa description des modèles pour inclure les derniers changements qui ont été introduits à la scène.

L'avantage de cet algorithme est sa simplicité. Les modèles probabilistes sont représentés sous la forme d'histogrammes qui sont très faciles à manipuler et à traiter. L'algorithme *CAMSHIFT* offre aussi l'avantage de converger vers les sommets des distributions probabilistes (identifiant ainsi les régions les plus fiables) sans nécessiter une connaissance préalable de la forme des objets. En contrepartie, l'algorithme fonctionne mieux pour les distributions unimodales, c'est-à-dire celles qui ne comportent qu'un seul sommet dans leur distribution probabiliste. En permettant à un opérateur d'identifier les régions d'intérêt, le système risque d'introduire des distributions multimodales à partir desquelles la segmentation robuste et fiable est plus difficile à effectuer. De plus, lorsqu'une fenêtre converge sur une distribution, la conformité entre la région définie par la convergence et la distribution probabiliste réelle n'est jamais totale. Il y a donc introduction d'erreurs dans les versions subséquentes du modèle. Ces erreurs influencent les convergences subséquentes et tendent à s'accumuler. Ceci constitue une limitation majeure à la technique puisque qu'il est fortement probable qu'à la fin d'une séquence vidéo les distributions probabilistes ne reflètent plus les objets d'intérêt et conduisent systématiquement à des segmentations erronées.

Technique des « Receptive Field Histograms »

La technique *CAMSHIFT* se base principalement sur les informations de couleur des régions d'intérêt tel qu'introduites par Swain et Ballard (1990). Dans le but de minimiser les difficultés identifiées avec la méthode *CAMSHIFT*, les histogrammes utilisés par cette technique peuvent être remplacés par des descriptions plus élaborées des régions d'intérêt. Il est possible d'extraire beaucoup plus d'informations d'une image que seulement ses couleurs. Schiele et Crowley (2000) utilisent ce principe dans leurs travaux de recherche pour obtenir une nouvelle méthode de description des objets. Leur technique utilise des histogrammes multidimensionnels nommés *Receptive Field Histograms (RFHs)* qui incluent diverses informations au-delà des caractéristiques chromatiques. Ils représentent une extension des histogrammes de couleurs qui incluent de l'information concernant les contours, les textures et les gradients d'une image.

Lors de leur définition, il est avantageux de formuler ces *RFHs* en utilisant le plus d'informations invariantes possible. La figure 5 illustre un *RFH* à deux dimensions formulé à partir d'un opérateur de Laplace qui permet de faire ressortir le contour des objets, et de la grandeur absolue des gradients d'une image, c'est-à-dire les variations d'intensité locales. Les *RFHs* ont été appliqués avec succès dans un système d'identification de panneaux publicitaires diffusés lors d'événements sportifs (Pelisson, Hall, Riff et Crowley, 2003).

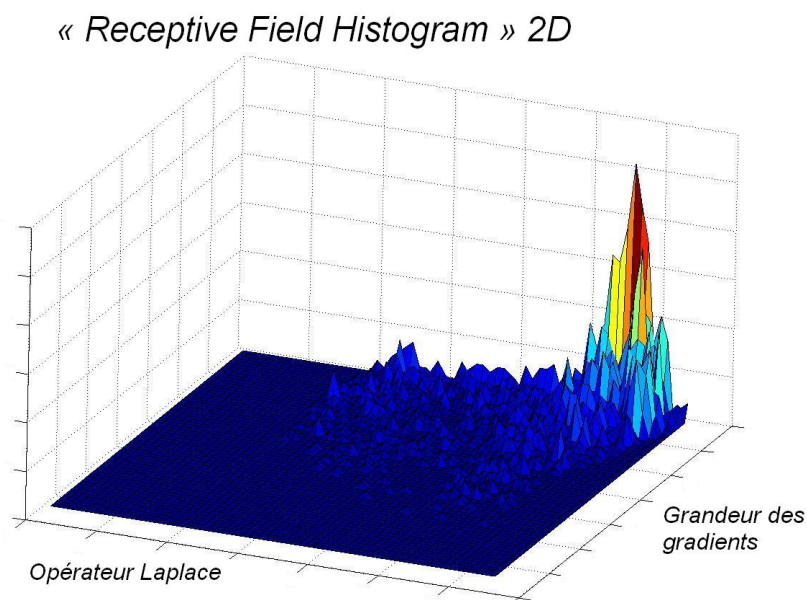


FIGURE 5. Exemple bidimensionnel d'un *Receptive Field Histogram*

L'utilisation des *RFHs* comporte plusieurs avantages au-delà des histogrammes traditionnels employés dans la méthode *CAMSHIFT*. Avec l'intégration de plusieurs classes d'information, les *RFHs* fournissent des descriptions plus discriminatoires des régions d'intérêt. De plus, les problèmes associés avec les distributions multimodales sont minimisés en raison de l'inclusion d'informations complémentaires. Les *RFHs* peuvent être formulés pour répondre aux besoins du système. Par contre, cette nouvelle technique ne parvient pas à répondre à toutes les difficultés associées à l'analyse de la posture et des gestes d'un pianiste. Certaines composantes des images comportent des informations très complexes et difficiles à représenter par des histogrammes. En augmentant les dimensions de ces derniers, il est possible d'obtenir de meilleurs résultats mais cela engendre également une augmentation considérable de la puissance de calcul requise. Étant donné l'abondance d'information disponible dans les séquences vidéo d'un pianiste en action, l'obtention d'une représentation unique et invariante des régions d'intérêt en ne misant que sur les *RFHs* apparaît irréaliste.

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

L'objectif de la première phase de cette recherche visait à analyser expérimentalement les techniques classiques de mesure du mouvement ainsi que les méthodes de pointe en imagerie par ordinateur, décrites précédemment. Ces méthodes ont été évaluées dans un environnement réel d'enseignement du piano à une clientèle de jeunes élèves à l'Université d'Ottawa. Les contraintes imposées par un tel environnement rendaient la tâche de détection du sujet pianiste fort complexe, mais ont néanmoins permis d'identifier les forces et les faiblesses des différentes stratégies et de mettre en lumière les approches les plus prometteuses pour le développement d'un dispositif de mesure, de quantification et d'évaluation de la gestuelle appliqué à la pratique du piano. Cette section présente les résultats expérimentaux obtenus avec les multiples techniques qui ont été décrites précédemment.

Performance des techniques de mesure classiques

Les essais menés sur des séquences vidéo montrant un pianiste et utilisant les méthodes de traitement des images traditionnelles, reposant essentiellement sur la détection des variations abruptes d'intensité (détection des arêtes de l'image) et sur la correspondance de la couleur des pixels de l'image avec un modèle fixe et non distribué, ont clairement démontré leurs limitations. La figure 6 illustre l'application de telles techniques de segmentation sur une image d'une jeune pianiste pendant une séance de pratique dans un environnement non contrôlé qu'est sa résidence. Cette scène représente bien le contexte dans lequel les méthodes d'analyse du mouvement doivent être en mesure d'opérer pour avoir un impact réel sur la pédagogie du piano.

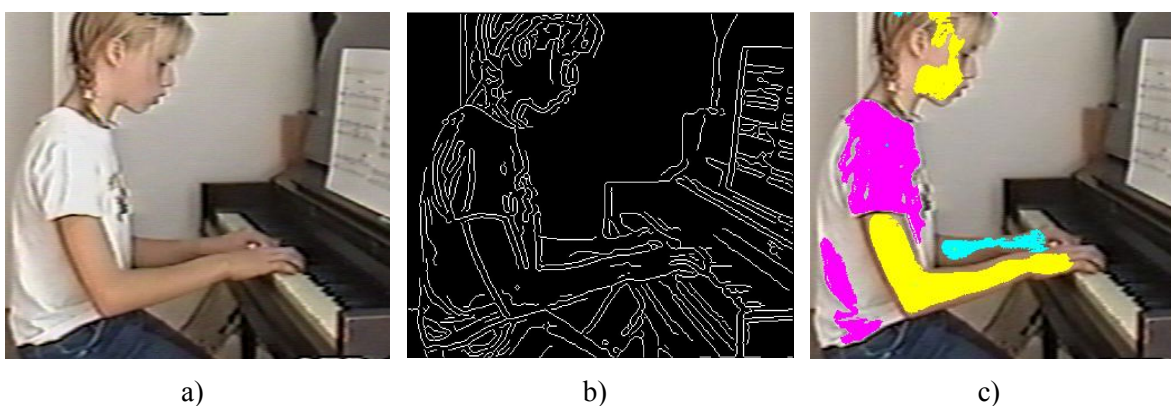


FIGURE 6. Évaluation des techniques de segmentation traditionnelles en imagerie dans le contexte de la pédagogie du piano : a) scène de la pianiste ; b) méthodes de segmentation classiques par arêtes ; c) méthodes de segmentation par chromaticité

Lorsque la segmentation traditionnelle par arêtes est employée (figure 6b), le contour de la pianiste est difficilement identifiable en raison du nombre considérable d'objets et de textures différentes dans l'environnement. La zone occupée par la pianiste elle-même étant composée de plusieurs couleurs se retrouve subdivisée en régions alors qu'elle devrait idéalement constituer un tout délimité par une bordure de forme libre.

Dans le cas de la segmentation par chromaticité (figure 6c), les effets d'ombrage et les variations d'intensité et de couleur qui surviennent pendant l'exécution des mouvements ainsi que la similarité entre les couleurs de certaines parties de l'arrière-scène et les vêtements de la pianiste conduisent à une segmentation imparfaite où des régions du mur sont classifiées comme si elles appartenaient à la pianiste. Les bras, la tête et le chandail sont identifiés mais ne couvrent pas la totalité de la surface correspondante, ce qui entraîne une déviation dans l'estimation de la pose des membres de la pianiste. Ces expériences ont démontré la nécessité d'avoir recours à des stratégies d'analyse des images plus sophistiquées qui sont capables d'apprendre et de s'adapter dynamiquement aux caractéristiques de l'environnement, tout en tenant compte des variations présentes dans les régions occupées par le sujet.

L'intérêt à développer des méthodes non invasives de mesure du mouvement pour des applications en pédagogie du piano a aussi été démontré suite à des essais menés avec un capteur de position fonctionnant à partir de champs magnétiques. La version *Fastrak* du dispositif d'évaluation du mouvement de Polhemus (2002) a été évaluée pour suivre les mains d'un pianiste pendant une répétition. Ce type de capteur est composé d'une antenne qui irradie un champ magnétique dans une zone sphérique pouvant s'étendre jusqu'à environ 20 mètres de diamètre. De petits récepteurs sont attachés sur le sujet et captent une partie du signal magnétique. Une analyse de l'amplitude et de la phase du signal permet d'estimer la position et l'orientation du récepteur et donc la pose du sujet dans l'espace. Malheureusement, ces capteurs ont tendance à être très sensibles aux autres champs magnétiques présents dans l'environnement ainsi qu'à la présence de matériaux conducteurs qui peuvent induire de tels champs et brouiller le signal utile émis par l'antenne. Notre évaluation cherchait donc à déterminer si la présence du piano et de ses composantes conductrices (la structure, les cordes, les pièces métalliques du mécanisme) pouvait compromettre la mesure du mouvement. La figure 7 présente une courbe typique du mouvement tel que mesuré par le capteur magnétique alors que la main est déplacée en ligne droite le long du clavier. On note la sensibilité excessive du capteur aux perturbations introduites par l'environnement qui transforme un mouvement rectilinéaire en une courbe relativement complexe avec une déviation de plus de 15 centimètres. En plus de créer un encombrement considérable pour le pianiste qui doit supporter les récepteurs et les câbles qui les relient à l'instrument de mesure, ce type de capteur ne peut fournir d'estimés fiables de la position des membres dans le contexte de la pratique du piano.

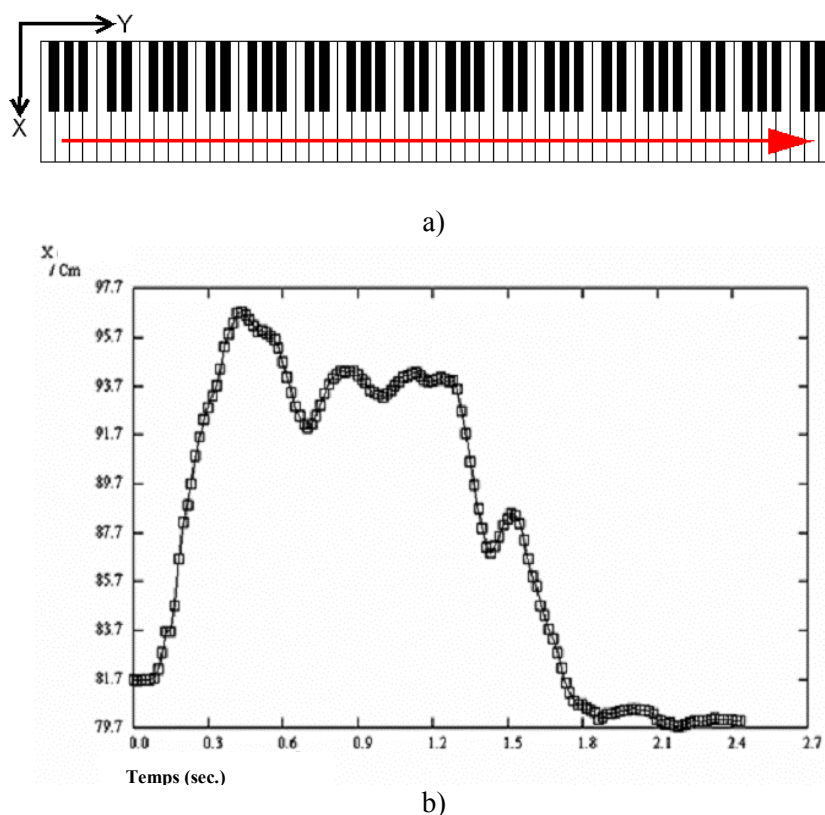


FIGURE 7. Estimation expérimentale d'un mouvement longitudinal le long du clavier à l'aide du système *Fastrak* de Polhemus : a) mouvement parallèle au clavier ; b) déplacement rapporté par le capteur dans la direction des touches du clavier

Résultats expérimentaux basés sur l'exploitation des technologies visuelles de pointe

Les techniques d'imagerie par ordinateur décrites préalablement ont été testées sur une séquence vidéo montrant une élève au piano pendant une séance de répétition (figure 8a). La séquence comporte des passages où les mouvements sont effectués à différentes vitesses et avec une amplitude variable. Il importe de noter qu'aucune contrainte n'a été imposée sur l'environnement autour du piano contrairement à ce que requièrent la plupart des techniques d'imagerie actuelles. L'éclairage de la scène est non uniforme, il y a plusieurs ombrages, la couleur de l'éclairage est modifiée par la présence de reflets et plusieurs caractéristiques de la pianiste sont cachées en raison de l'angle à partir duquel la caméra prend les images. Cette séquence a été choisie en raison de sa complexité et parce qu'elle offre une bonne base discriminatoire entre les algorithmes.

La figure 8b présente les résultats obtenus à l'aide d'un filtre probabiliste utilisant les caractéristiques chromatiques de la peau. On constate entre autres qu'en raison des

changements de couleur dans l'éclairage, la main de la pianiste n'est pas correctement représentée sur une longue période par la distribution gaussienne définie initialement pour la séquence. La segmentation devient rapidement inadéquate après quelques images à peine. Aussi, plusieurs régions de l'arrière-scène sont faussement identifiées comme étant des sections de peau, représentées par les zones blanches, puisque leur couleur s'apparente aux caractéristiques définies par la courbe gaussienne du filtre probabiliste. Une solution possible à cette limitation consisterait à élargir la définition des caractéristiques chromatiques de la peau afin d'y inclure plusieurs distributions de couleurs. Toutefois, cela augmenterait aussi la part de bruit présent dans la segmentation, conduisant à de nombreuses petites régions de l'espace faussement attribuées à un membre de la pianiste.

Dans le cas de la technique basée sur la combinaison de distributions gaussiennes, plusieurs distributions sont associées à chaque pixel de l'image. La classification de l'avant et de l'arrière-scène repose sur une évaluation de la correspondance entre les pixels examinés dans l'image et les distributions représentatives pour cette image. Mais lorsque le système est initialisé à partir d'une image où des composantes de l'avant-scène, ici la pianiste, sont présentes et cachent une partie de l'arrière-scène (le mur, le piano et le banc), la définition des caractéristiques de l'arrière-scène ne peut être complète. Ceci est mis en évidence, à la figure 8c, par la région d'arrière-scène découverte derrière la pianiste suite à son déplacement en direction du piano. Certaines régions le long du dos de la pianiste sont faussement classifiées comme faisant partie de l'avant-scène alors qu'elles appartiennent au mur. La principale cause de ce phénomène provient du manque de mouvements de grande amplitude dans la séquence et de l'apprentissage rapide du système.

La figure 8d représente la distribution probabiliste d'une fenêtre (en rouge) initialisée dans le contexte de l'algorithme *CAMSHIFT*. La fenêtre est concentrée le long du torse de la pianiste. L'utilisation d'histogrammes de couleur simples fait en sorte qu'il y a beaucoup de bruit dans la distribution. Les régions ayant des caractéristiques similaires sont aussi partiellement identifiées (les zones blanches) dans la distribution. Par exemple, le bras droit de la pianiste comporte des couleurs identiques au torse et donc fausse la conformité de la fenêtre. Dans ce cas, l'utilisation de formes géométriques introduit une limitation importante dans le système puisque l'être humain doit idéalement être perçu comme un objet déformable et ne peut que difficilement être représenté adéquatement par une géométrie simple.

Le dernier résultat illustré à la figure 8e a été obtenu suite à une adaptation de l'algorithme *CAMSHIFT* pour inclure des histogrammes multidimensionnels de type *Receptive Field Histograms*. L'algorithme a aussi été modifié afin de réduire sa dépendance à la conformité des formes géométriques. Les résultats obtenus suite à ces modifications aux approches originales sont très encourageants, notamment pour la segmentation du torse et du bras de la pianiste. Cependant, la représentation des régions plus complexes tel que la tête et les mains exige des raffinements supplémentaires.

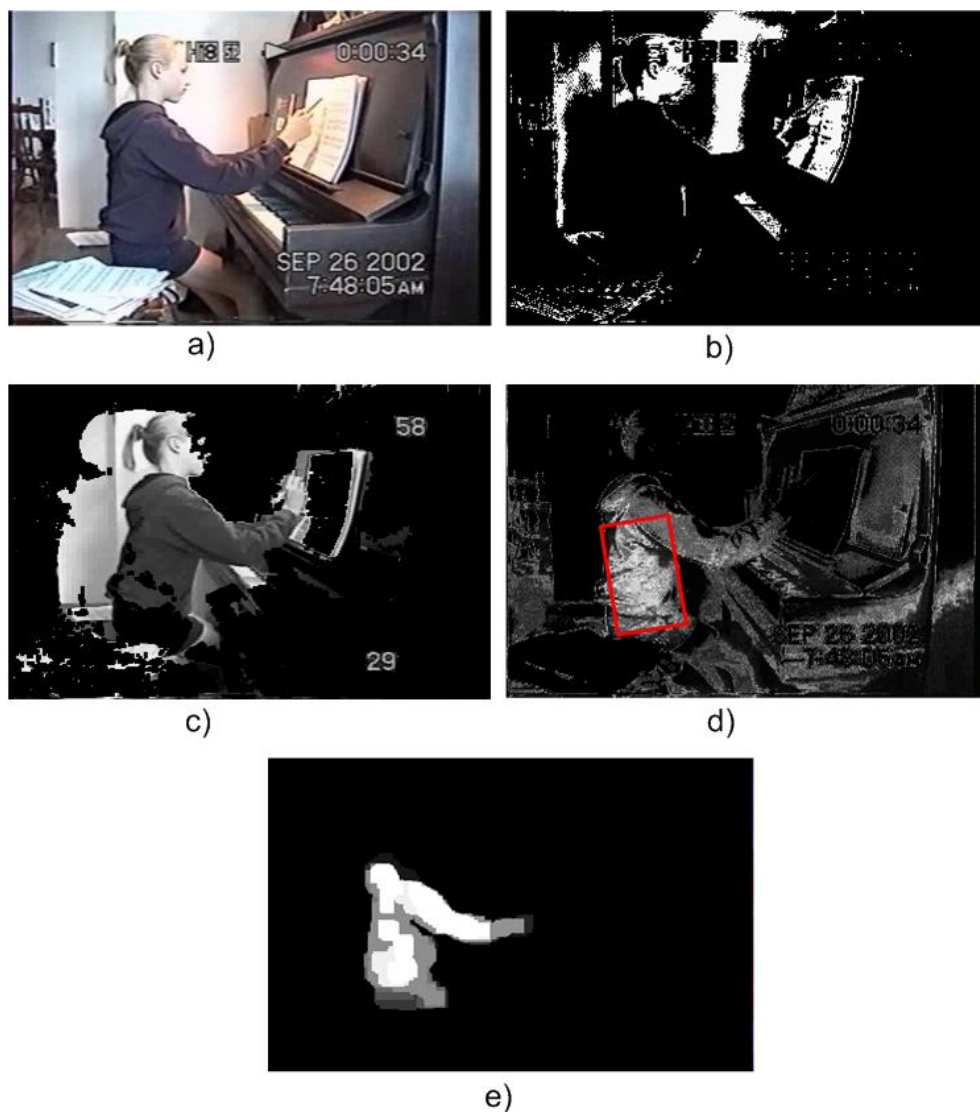


FIGURE 8. a) Image originale ; b) résultat avec le filtre probabiliste de la peau ; c) résultat avec la combinaison de gaussiennes ; d) résultat avec l'algorithme *CAMSHIFT* ; e) résultat avec l'algorithme *CAMSHIFT* modifié incluant les *RFHs*

CONCLUSION

Cette étude des méthodes de mesure du mouvement humain a permis de retracer les développements historiques de la technologie et de mettre en évidence le besoin prépondérant de définir des techniques de perception non invasives qui demeurent robustes aux variations continues des conditions de l'environnement. La mise au point de systèmes de mesure et d'analyse du mouvement qui pourront assister les enseignants et les

élèves dans la pratique du piano et le développement de méthodes de jeu efficaces et sécuritaires dans un contexte réaliste non soumis à d'importantes contraintes techniques passe par le raffinement des méthodes d'imagerie par ordinateur les plus avancées.

Une étude expérimentale des approches les plus prometteuses a été réalisée à partir de séquences vidéo très représentatives de l'environnement et des conditions dans lesquelles de jeunes musiciens développent leur talent et leur technique. Il en ressort que l'estimation en continu de la pose de la partie supérieure du corps d'un pianiste à partir d'instruments de mesure non invasifs représente un déficit de taille. Cette analyse a permis de conclure sur la nécessité de développer des techniques adaptatives capables d'apprendre en temps réel non seulement les caractéristiques chromatiques mais aussi les paramètres géométriques de plus haut niveau de la scène, afin d'arriver à suivre les variations omniprésentes dans une séquence vidéo enregistrée avec un minimum de contraintes physiques.

Une combinaison originale des méthodes du *Continuously Adaptive Mean-Shift* et des *Receptive Field Histograms* a permis d'obtenir des résultats très encourageants pour la segmentation de séquences vidéo de pianistes en répétition qui surpassent les résultats disponibles à partir des autres méthodes évoluées, en opération à ce jour. La suite de cette recherche permettra de raffiner davantage la nouvelle approche et de l'appliquer au dispositif de vision à points de vue multiples proposé qui fournira alors toute l'information requise pour réaliser la phase de reconstruction tridimensionnelle et d'estimation de la pose complète des membres du pianiste. Cette mesure de la pose des membres du sujet dans l'espace fournira une évaluation quantitative des mouvements d'un pianiste qui pourront ensuite être analysés autant dans une perspective pédagogique que biomécanique et médicale.

Références

- Albrecht, I., J. Haber et H.-P. Seidel (2003). « Construction and animation of anatomically based human hand models ». *Proceedings of the Eurographics/SIGGRAPH Symposium on Computer Animation*.
- Atev, S., O. Masoud et N. Papanikolopoulos (2004). « Practical mixtures of gaussians with brightness monitoring ». *Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems*, p. 423-428, oct. 3-6.
- Bayoumi, F., M. Fouad et S. Shaheen (2003). « Based skin human detection in natural and complex scenes ». *Proceedings of the 46th IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems*, vol. 2, p. 568-571, déc. 27-30.
- Boulic, R., M. Silaghi et D. Thalmann (2000). « Visualization of local movements for optical marker positioning ». *Lecture Notes in Computer Science 1899* : 133-144.
- Bradski, G. R. (1998). « Computer vision face tracking for use in a perceptual user interface ». *Intel Technology Journal 2* (2).
- Bressler, N. (2000). « Behind closed doors: a qualitative study exploring the pedagogical practices in piano ». Mémoire de maîtrise, McMaster University.
- Cheung, K. M. G., S. Baker et T. Kanade (2003). « Shape-from-silhouette of articulated objects and its use for human body kinematics estimation and motion capture ». *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 1, p. 77-84.
- Comaniciu, D. et P. Meer (mai 2002). « Mean shift: a robust approach toward feature space analysis ». *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 24* (5) : 603-619.
- Comaniciu, D., V. Ramesh et P. Meer (mai 2002). « Kernel-based object tracking ». *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 25* (5) : 564-577.
- Comeau, G., P. Payeur, A. Desjardins, E. Keillor et N. Bressler (sept. 2004). « Challenging 300 years of piano teaching practices with 21st century technology: piano playing-related health problems ». *Canadian Medical and Biological Engineering Society Conference*, Québec, Canada.

- Drouin, S., P. Hébert et M. Parizeau (2003). « Simultaneous tracking and estimation of a skeletal model for monitoring human motion ». *Proceedings of Vision Interface Conference*, p. 81-88. Halifax, NS.
- Du, W. et H. Li (2000). « Vision based gesture recognition system with single camera ». *Proceedings of the 5th International Conference on Signal Processing*, vol. 2, p. 1351-1357, août 21-25.
- Horprasert, T., D. Hardwood et L. S. Davis (janv. 2000). « A robust background subtraction and shadow detection ». *Proceedings of the 4th Asian Conference on Computer Vision*, vol. 1, p. 983-988.
- Hsu, Y. P. (1997). « An analysis of contributing factors to Repetitive Strain Injury (RSI) among pianists ». Thèse de doctorat (Ph.D.), Teachers College, Columbia University.
- Jaëll, M. (1897). *Le mécanisme du toucher, l'étude du piano par l'analyse expérimentale de la sensibilité tactile*. Armand Colin et Cie, éditeurs.
- Jobbagy, A. (2004). « Analysis of finger-tapping movement ». *Journal of Neuroscience Methods*.
- Jones, M. J. et J. M. Rehg (1999). « Statistical color models with application to skin detection ». *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 1, p. 274-280, juin 23-25.
- Lammers, M., M. Kruger, L. J. Stoner, R. Fuller et D. Allyn (1996). « Biomechanics of musical performance: development of expertise in a natural task, playing the trombone ». *Proceedings of the Biomedical Engineering Conference*, p. 56-59.
- Ortmann, O. (1929). *The Physiological Mechanisms of Piano Technique, an Experimental Study of the Nature of Muscular Action Used in Piano Playing, and of the Effects thereof upon the Piano Key and the Piano Tone*. New York : E.P. Dutton & Co, Inc.
- Palmer, C. et C. Drake (1997). « Monitoring and planning capacities in the acquisition of music performance skills ». *Canadian Journal of Experimental Psychology* 51 : 369-384.
- Palmer, C. et P. Q. Pfordresher (2000). « From my hand to your ear: the faces of meter in performance and perception ». *Proceedings of the International Conference on Music Perception and Cognition*, C. Wood, G.B. Luck, R. Brochard, F. Seddon, J.A. Sloboda (Éd.), p. 1-10. Staffordshire, UK.

- Parlitz, D., W. Trappe, D. Dreschner et E. Altenmüller (1999). *Experimental Setup for a Combined Motion, Force and Sound Intensity Analysis of Professional Piano Technique*. Institute for Music Physiology and Performing Arts Medicine, University for Music and Theatre Hannover.
- Pelisson, F., D. Hall, O. Riff et J. L. Crowley (2003). « Brand identification using gaussian derivative histograms ». *Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Vision Systems*, p. 429-501.
- Polhemus (2002). *Fast and Easy Digital Tracker*. Colchester, VM.
- Rogers, S. M. (1999). « Survey of piano instructors: awareness and intervention of predisposing factors to Piano-Related Injuries ». Thèse de doctorat (Ph.D.), Teachers College, Columbia University.
- Schiele, B. et J. L. Crowley (2000). « Recognition without correspondence using multidimensional receptive field histograms ». *International Journal of Computer Vision* 36 (1) : 31-52.
- Schultz, A. (1949). *The Riddle of the Pianist's Finger and its Relationship to a Touch-Scheme*. New York : Carl Fischer.
- Sigal, L., S. Scarloff et V. Athitsos (juillet 2004). « Skin color-based video segmentation under time-varying illumination ». *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 26 (7) : 832-877.
- Stauffer, C. et W. E. L. Grimson (1999). « Adaptive background mixture models for real-time tracking ». *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, p. 246-252.
- Stauffer, C. et W. E. L. Grimson (août 2000). « Learning patterns of activity using real-time tracking ». *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 22 (8) : 747-757.
- Sullivan, J., M. Ericksson et S. Carlsson (2002). « Recognition, tracking, and reconstruction of human motion ». *Lecture Notes in Computer Science* 2492 : 142-154.
- Swain, M. J. et D. H. Ballard (1990). « Indexing via color histograms ». *Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Vision*, p. 390-393.
- Tarabella, L., P. Carosi et G. Bertini (1994). « A language and some interfaces for computer music live performances ». *Aarhus Symposium on Generative Grammars for Music Performance*, Johan Sundberg, editors.

- Tek, H., D. Comaniciu et J. P. Williams (2001). « Vessel detection by mean shift based ray propagation ». *IEEE Workshop on Mathematical Methods in Biomedical Image Analysis*.
- Trappe, W., D. Parlitz, U. Katzenberger et E. Altenmüller (1998). *3-D Measurements of Cyclic Motion Patterns in Drummers with Different Skills*. Institute for Music Physiology and Performing Arts Medicine, University for Music and Theatre Hannover.
- Vicon Peak (2005). *Vicon Motion Capture System*, Lake Forest, CA.
- Visentin, P. et G .B. Shan (2003). « Biomechanical characteristics of violin performance and their links to Repetitive Strain Injuries ». *Proceedings of the International Arts Conference*.
- Wang, J. J. et S. Singh (2003). « Video analysis of human dynamics – a Survey ». *Real-Time Imaging* 9 : 320-345.
- Wren, C. R., A. Azarbayejani, T. Darrell et A. P. Pentland (juillet 1997). « Pfunder: real-time tracking of the human body ». *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 19 (7) : 780-785.
- Yang, J., W. Lu et A. Waibel (1998). « Skin-color modeling and adaptation ». *Proceedings of the 3rd Asian Conference on Computer Vision*, vol. 2, p. 687-694.
- Zaza, C. H. (1995). « Musicians' playing-related musculoskeletal disorders: an examination of physical, psychological, and behavioural factors ». Thèse de doctorat (Ph.D.), University of Waterloo.

ÉTUDE THERMOGRAPHIQUE DE PIANISTES LORS D'UNE SÉANCE DE TRAVAIL : ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE SUPERFICIELLE DES MUSCLES ET PREMIÈRES INTERPRÉTATIONS

Christophe L. Herry, Rafik A. Goubran

Department of Systems and Computer Engineering, Carleton University

Monique Frize

Department of Systems and Computer Engineering, Carleton University
École d'ingénierie et des technologies de l'information, Université d'Ottawa

Gilles Comeau

Département de musique, Université d'Ottawa

INTRODUCTION

L'existence et la spécificité des problèmes médicaux des musiciens instrumentistes ont finalement été reconnues par la communauté médicale et scientifique dans les années 1980 et de nombreuses études ont été entreprises depuis sur le sujet. De nombreuses lacunes subsistent néanmoins, en particulier en ce qui concerne la compréhension des mécanismes et de l'évolution des pathologies médicales chez les musiciens. L'activité des muscles lors de la pratique d'un instrument est un paramètre important pour l'identification des premiers signes de troubles musculosquelettiques. Différentes techniques invasives existent pour enregistrer l'activité des muscles, la plus courante étant l'électromyographie. Cependant, il est souhaitable de procurer un environnement naturel au musicien si l'on veut reproduire le comportement habituel des muscles. Une autre méthode moins fréquente est l'analyse de la température des muscles, qui dans le cas des muscles superficiels du bras et de la main, peut être mesurée à distance à l'aide d'une caméra infrarouge. L'évolution des températures au cours de la séance de travail permettrait non seulement d'évaluer l'activité des muscles superficiels, mais également d'identifier les premiers signes d'origine inflammatoire des troubles musculosquelettiques. Un autre sujet encore débattu dans bien des domaines y compris dans le milieu du sport est l'échauffement physique et ses vertus. Il est encore bien souvent négligé dans le domaine musical même si les performances musicales ne sont pas forcément très éloignées des performances sportives. Le suivi des températures des muscles pourrait également nous fournir des renseignements importants dans ce domaine. Ce projet pilote se concentre sur un groupe d'instrumentistes spécifiques : les pianistes. Les premiers résultats sont présentés dans la suite de cet article.

À terme, ce projet se propose de fournir aux enseignants et pédagogues les connaissances nécessaires à l'élaboration de techniques musicales réduisant la fréquence des problèmes médicaux chez les musiciens.

GÉNÉRALITÉS

Troubles musculosquelettiques liés à la pratique du piano

Les troubles musculosquelettiques liés à la pratique du piano (TMLPP) affecteraient un grand nombre de musiciens. Les chiffres varient parmi les experts selon les critères plus ou moins rigoureux retenus pour qualifier ces troubles. Cependant, même en considérant les études les plus prudentes, les TMLPP toucheraient quelque 43 % des musiciens professionnels et 17 % des jeunes musiciens (Zaza, 1998). Les estimations des experts sur la fréquence des TMLPP dépassent parfois même les 80 % si les maux et douleurs légers sont pris en compte. Toutefois, il n'existe pas de consensus sur la définition des TMLPP, bien que l'on s'accorde généralement sur le caractère chronique, inhabituel et imprévisible des symptômes ainsi que sur l'influence profonde des troubles musculosquelettiques sur la manière de jouer (Tubiana et Amadio, 2000). Ainsi, certains chercheurs considèrent que seul le musicien est à même de définir et de qualifier la sévérité des troubles affectant sa façon de jouer. Les TMLPP recouvrent en effet un ensemble varié de symptômes et de pathologies neuromusculaires (tendinite, paratendonite, dystonie focale, syndrome du canal carpien) qui touchent principalement les tissus musculosquelettiques des extrémités supérieures (mains, bras, épaules, cou, visage, dos) (Bejjani, Kaye et Benham, 1996 ; Bertsch et Maca, 1997 ; Wynn Parry, 2003 ; Tubiana et Amadio, 2000). Ces symptômes sont certainement aggravés, sinon causés, par le travail répétitif et parfois forcé des tissus neuromusculaires lors de la pratique régulière d'un instrument de musique. De plus, une large majorité de ces troubles sont d'ordre inflammatoire et s'accompagnent de douleur chronique pouvant se manifester en dehors des séances de travail. La multiplicité des symptômes, le fait qu'ils ne soient pas nécessairement propres aux TMLPP et le caractère subjectif de la douleur associée à ces symptômes rendent le diagnostic souvent bien difficile à établir, sauf à un stade avancé nécessitant une intervention chirurgicale suivie d'une période plus ou moins longue de rééducation, ou bien l'arrêt temporaire ou définitif de la pratique de l'instrument (Bejjani, Kaye et Benham, 1996 ; Lederman, 2003 ; Nourissat, Chamagne et Dumontier, 2003). Cependant, l'établissement d'un diagnostic est grandement facilité lorsque le médecin spécialiste a en main l'historique du patient, accompagné d'évaluations physiques de l'instrument, des zones de contact entre le musicien et son instrument, et des outils d'imagerie nécessaires. L'observation du musicien dans son environnement est primordiale pour établir le diagnostic (Tubiana et Amadio, 2000 ; Winspur, 2003).

Il est important de constater que ces troubles sont loin d'être l'apanage des musiciens et touchent, sous le nom générique de troubles musculosquelettiques liés au travail, de nombreuses professions (ouvriers de chaîne de montage, dactylographes/saisie de données sur ordinateur, etc.). En réalité, la prise en compte des TMLPP est relativement récente dans le domaine musical (fin des années 80) et les mécanismes, causes et conséquences de ces troubles sont encore bien mal connus (Nourissat, Chamagne et Dumontier, 2003). Par ailleurs, aborder le sujet des TMLPP est délicat chez de nombreux musiciens, car il suggère implicitement une baisse de leur niveau de performance à court ou à long terme (Bejjani, Kaye et Benham, 1996 ; Lederman, 2003).

Comprendre les mécanismes et l'évolution de ces troubles est primordial non seulement pour un diagnostic et un traitement adéquat, mais également pour tenter de limiter la gravité ou d'enrayer la multiplication des TMLPP. En outre, la connaissance des causes de l'apparition des TMLPP pourrait permettre de mettre en place une série de mesures préventives : techniques limitant les positions inconfortables, approches pédagogiques prenant en compte les caractéristiques physiques du musicien, etc.

Échauffement physique

L'échauffement physique avant une période d'activité physique intense (par exemple, un événement sportif) est une pratique largement acceptée dans le milieu du sport. Il consiste en une série d'exercices physiques de durée et d'intensité variées, destinés, entre autres, à élever la température des muscles, augmenter l'afflux de sang vers les muscles, élever la consommation d'oxygène. L'augmentation de la température des muscles permettrait de réduire la résistance des muscles et articulations — réduisant ainsi le risque de blessures — d'augmenter la libération d'oxygène par l'hémoglobine et la myoglobine, d'accélérer les réactions métaboliques, d'augmenter le taux de conduction nerveuse (Bishop, 2003a ; Bishop, 2003b). La majorité des échauffements dans le milieu sportif sont actifs (exercices physiques). Il existe également des techniques passives pour élever la température des muscles de façon externe (douches chaudes, saunas, compresses chauffantes, salle chauffée) mais elles sont peu utilisées pour des raisons pratiques (Bishop, 2003a ; Bishop, 2003b).

L'échauffement physique est souvent considéré comme un élément indispensable pour obtenir de bonnes performances, mais aussi pour se prémunir contre les blessures. Pourtant, il est intéressant de noter que les preuves scientifiques de l'efficacité de telles ou telles techniques d'échauffement sont anecdotiques, que les conséquences physiologiques d'un échauffement sont encore mal connues, tout comme les effets en termes de performances (Bishop, 2003a ; Bishop, 2003b). Le rôle qu'a l'échauffement dans la prévention des blessures est cependant plus clair et il semble être un facteur de réduction importante de la fréquence des blessures sportives.

Il est surprenant de constater que l'échauffement (physique) est beaucoup moins systématique dans le milieu musical, que ce soit chez les musiciens professionnels ou amateurs. Certains musiciens comme les instrumentistes à vent font plusieurs minutes d'exercices spécifiques destinés à augmenter la coordination des muscles de la bouche (Bertsch et Maca, 1997) ; les chanteurs s'adonnent à de nombreux exercices respiratoires. Le manque d'échauffement est particulièrement vrai chez les pianistes où le sujet est encore trop rarement abordé. Un échauffement musical est souvent substitué à un échauffement physique. Des exercices adaptés existent, qui font travailler différents groupes de muscles avant d'attaquer la pratique proprement dite (Grieco et al., 1989). La structure de l'échauffement musical est cependant très variable et dans bien des cas encore, il n'est pas adapté et peut parfois même produire le contraire des effets voulus (par exemple, jouer des gammes rapidement dès le début de la pratique).

Pourtant, il n'est pas exagéré de comparer l'intensité et le stress physique d'un récital, d'un concert ou même d'un travail de plusieurs heures au piano à une performance sportive. Il est légitime de penser que les musiciens pourraient profiter des mêmes conséquences bénéfiques en terme de prévention des blessures, si des techniques d'échauffement appropriées étaient mises en place et pratiquées de façon plus systématique.

L'un des principaux effets d'un échauffement est l'augmentation de la température des muscles, qui aurait pour conséquence une réduction de la résistance visqueuse des muscles et articulations, une augmentation de la quantité d'oxygène dans les muscles, une augmentation du métabolisme anaérobie et une augmentation de la vitesse de conduction des nerfs entre autres (Bishop, 2003a ; Bishop, 2003b). Encore une fois, les études scientifiques sur l'évolution de la température des muscles et autres tissus neuromusculaires sont peu nombreuses, même dans le domaine du sport. Afin de comprendre les effets de l'échauffement sur les performances et la prévention des blessures chez le musicien, il est donc important d'étudier l'évolution de la température des muscles des musiciens.

Thermographie infrarouge

La nature inflammatoire des TMLPP et les effets d'un échauffement physique contribuent tous deux à des variations de température au niveau des muscles et autres tissus neuromusculaires, et par extension à la surface de la peau. Ces subtils changements de température peuvent être détectés à l'aide de la thermographie infrarouge. Il s'agit d'une technique d'imagerie non invasive, non radiative qui enregistre la distribution de températures à la surface d'un objet ou d'un être humain par l'intermédiaire d'une caméra infrarouge (Herry, Frize, Goubran et Comeau, 2005 ; Herry et Frize, 2004). Cette caméra est sensible aux radiations infrarouges émises naturellement par tout corps ayant une température supérieure à -273 degrés Celsius. La quantité de radiations émises (l'émissivité) est directement reliée à la température de l'échantillon mesuré. Si l'on

connaît les caractéristiques de l'échantillon, il est ensuite possible de représenter la distribution des températures sous forme d'une image (ou d'une séquence d'images) dont les variations d'intensité correspondent aux variations de température. Plus l'émissivité de l'objet est élevée et moins les mesures sont sensibles aux interférences dues aux réflexions des radiations. Ces interférences produisent des mesures erronées de la quantité de radiations émanant de l'objet. Afin d'obtenir des mesures cohérentes des radiations, il est nécessaire d'avoir un environnement adéquat : température et humidité contrôlées, pas de matériaux réflecteurs, lumières de types fluorescentes, pas de revêtement brillant ou plastique au sol.

Dans le cas d'un être humain, on obtient donc une image représentant les variations de température à la surface de la peau. La peau étant un excellent émetteur dans le domaine infrarouge (émissivité proche de 98 %), il est alors possible d'en déduire la distribution et l'évolution des températures de diverses structures anatomiques et d'étudier les mécanismes physiologiques sous-jacents¹.

L'interprétation des images ou séquences thermales n'est pas évidente. En effet, la représentation des températures en niveaux de gris ou en couleur peut être trompeuse pour l'œil humain et entraîner des interprétations erronées. Il est donc nécessaire de traiter les images à l'aide d'algorithmes d'extraction de caractéristiques et de classification pour présenter un résultat objectif au thermographe (Herry et Frize, 2004).

MÉTHODOLOGIE

Choix de la population

Dans le cadre de ce projet, nous avons choisi une population de pianistes pour plusieurs raisons. Tout d'abord, une grande majorité d'étudiants qui entreprennent des études musicales s'inscrivent à des cours de piano. Ensuite, l'utilisation du clavier lors du jeu pianistique et le type de blessures qui en résulte peuvent être rapprochés d'autres segments de la population comme les personnes travaillant sur ordinateur par exemple. La dernière raison pour choisir les pianistes est leur facilité d'accès.

1 Les sujets d'étude thermographique doivent suivre les consignes suivantes pour éviter de fausser les mesures : aucune poudre de talc, lotion, aucun médicament, ou déodorant le jour de la séance, pas de boissons alcoolisées 24 heures avant la séance, pas de boissons chaudes ou caféine une heure avant la séance, pas de physiothérapie ayant recours à des procédures telles qu'électromyographie, acupuncture, myélographie, stimulation nerveuse électrique transcutanée 24 heures avant la séance, pas d'exposition prolongée au soleil une semaine avant la séance, ne pas fumer de tabac au moins 2 heures avant la séance, pas d'exercices physiques intenses au moins 4 heures avant la séance.

Plusieurs types de population sont considérés. Le premier est une population de jeunes pianistes dont l'âge est compris entre 6 et 18 ans. Cette population est importante pour plusieurs raisons. Tout d'abord, il s'agit d'étudiants musiciens qui n'ont pas nécessairement terminé de développer leur style et leur technique musicale. Ensuite, il est raisonnable de penser que la majorité de ces jeunes pianistes n'ont pas encore de troubles musculosquelettiques perceptibles ; il est donc possible d'étudier les premiers signes d'apparition des TMLPP et de suivre leur évolution vers des troubles plus sérieux comme c'est le cas chez bon nombre de musiciens professionnels.

Le second groupe comprendra des musiciens adultes qui peuvent être divisés en plusieurs catégories : symptômes de TMLPP ou non, professionnels ou amateurs, années d'expérience, etc. Les pianistes non symptomatiques constitueront la population de contrôle à laquelle les autres pianistes seront comparés.

Protocole opératoire

Les pianistes volontaires, portant un T-shirt sans manche, arrivent 15 minutes avant le début de leur séance afin que la température de leur peau s'équilibre avec celle de la salle. Ils remplissent un questionnaire sur leur expérience, leur fréquence et durée de travail, la pratique d'un échauffement (physique ou musical), ainsi que les morceaux joués lors de la séance.

La température de la salle est fixée entre 22 et 24 degrés Celsius. Une première série d'images des mains (vues antérieure et dorsale), avant-bras (vues antérieure et dorsale), bras courbé de l'épaule au poignet (vue latérale), bras entier (vue antérieure et dorsale), cou et visage (vues frontale et latérale) est prise. Plusieurs images sont prises pour chaque vue. Les pianistes commencent alors à jouer. Toutes les dix ou quinze minutes, une nouvelle série d'images est prise, jusqu'à la fin de la séance de travail. Les pianistes cessent alors de jouer et une dernière série d'images est prise quinze minutes après la fin de la séance de travail².

Analyse des images

Les images sont transférées vers un ordinateur en temps réel lors de la séance et conservées pour l'analyse. Celle-ci est faite à l'aide de l'environnement logiciel *Matlab* de Mathworks Inc. De façon générale, l'algorithme d'analyse procède de la manière suivante :

- Détection et extraction des contours ;
- Identification des points remarquables (anatomiques) ;
- Délimitation des régions d'intérêt ;

2 Le protocole a été approuvé par le comité d'éthique de l'Université d'Ottawa (approbation H 06-04-18).

- Extraction des données caractéristiques ;
- Classification des régions d'intérêt et des images.

Les blessures les plus fréquentes chez les pianistes se trouvent dans les muscles extenseurs du poignet, les muscles lombricaux des doigts, les muscles interosseux de la main droite, le muscle rond pronateur et dans plusieurs muscles fléchisseurs du bras et de l'avant-bras (Bejjani, Kaye et Benham, 1996 ; Lederman, 2003 ; Nourissat, Chamagne et Dumontier, 2003). Pour les résultats présentés dans la section suivante, les régions d'intérêt sont donc les différentes régions musculaires du bras et de l'avant-bras, et plus particulièrement les régions correspondantes aux muscles mentionnés ci-dessus. Ces régions ont été délimitées à l'aide d'un modèle d'anatomie musculaire en utilisant certains points (d'anatomie) remarquables (Marieb, 1995). Un des modèles anatomiques utilisés est présenté sur la figure 1. Les schémas anatomiques correspondant aux muscles du bras et de la main sont reproduits sur la figure 2.

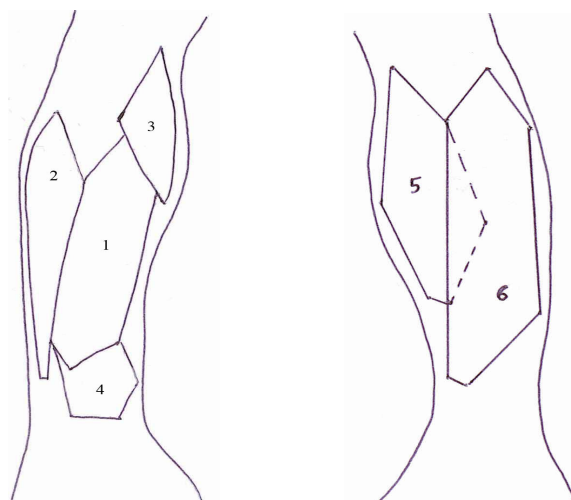


FIGURE 1. Exemples de deux modèles utilisés pour la température moyenne des muscles fléchisseurs (2 et 6) et extenseurs (1, 3, 4 et 5) de l'avant-bras. Le schéma de droite représente la vue dorsale, celui de gauche représente la vue antérieure de l'avant-bras

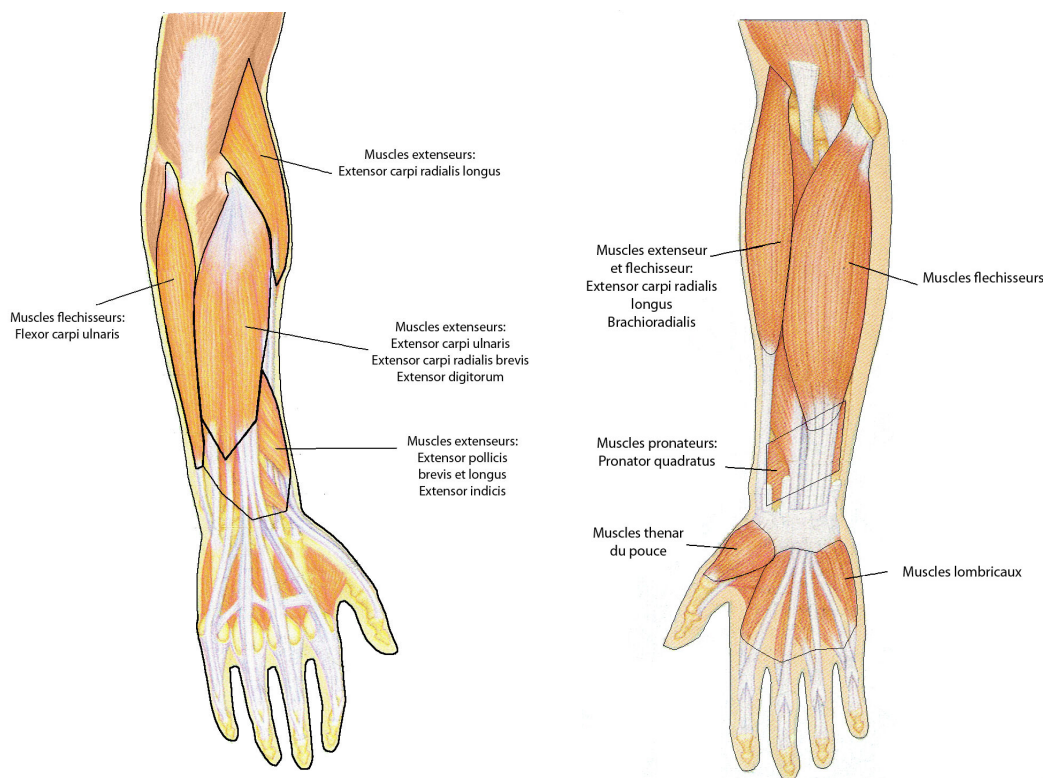


FIGURE 2. Schémas anatomiques des muscles de l'avant bras et de la main. Vues postérieure (gauche) et antérieure (droite)

Seuls les groupes de muscles majeurs superficiels sont représentés, car ils sont très proches de la surface de la peau et leur température est donc facilement déterminée. Nous avons considéré plus particulièrement les variations de température dans les tissus neuromusculaires suivants : biceps, triceps, muscle deltoïde, muscles fléchisseurs et extenseurs de l'avant-bras, l'articulation du coude et du poignet, les muscles des mains. D'autres régions peuvent bien sûr être étudiées et fournir des informations supplémentaires.

PREMIERS RÉSULTATS

Plusieurs centaines d'images infrarouges des mains, bras, cou et visage ont été prises par une caméra infrarouge Thermacam SC500 de FLIR Systems Inc. pendant une séance de travail au piano. Les sujets étaient 6 jeunes pianistes volontaires âgés de 6 à 18 ans (5 filles, 1 garçon), avec entre 2 et 14 ans d'expérience. La durée des séances de travail des pianistes variait de 30 minutes pour les plus jeunes à 2 heures ou plus.

Des images de trois pianistes adultes expérimentés (un enseignant et deux étudiants à la maîtrise) ont également été prises. La constitution de la base de données est toujours en cours selon la disponibilité des volontaires.

Dix images en moyenne ont été prises pour chaque vue et la moyenne des caractéristiques de chaque région est présentée ci-après à différents moments de la séance. Chaque image a une résolution de 320 X 240 pixels et une sensibilité thermique de 0.1 degré Celsius.

Dans une publication précédente, nous avons présenté les courbes de température absolue des muscles lors d'une séance de pratique (Herry, Frize, Goubran et Comeau, 2005). Dans les courbes présentées ci-après, nous nous intéressons plus particulièrement à la variation de la température des muscles au cours d'une séance et nous avons donc soustrait la température initiale des muscles.

Les figures 3, 4 et 5 montrent 3 exemples typiques des variations de température des régions de la peau correspondant au muscle deltoïde, au biceps (vues latérale et antérieure), au triceps, à l'articulation du coude, au groupe de muscles fléchisseurs et extenseurs du bras droit de trois sujets. Chaque point représente la température moyenne de la région pour une série d'images. Le premier point d'une série correspond à la première prise d'images après la période d'équilibration de la température et le dernier point correspond à la prise d'images après la période de repos à la fin de la séance.

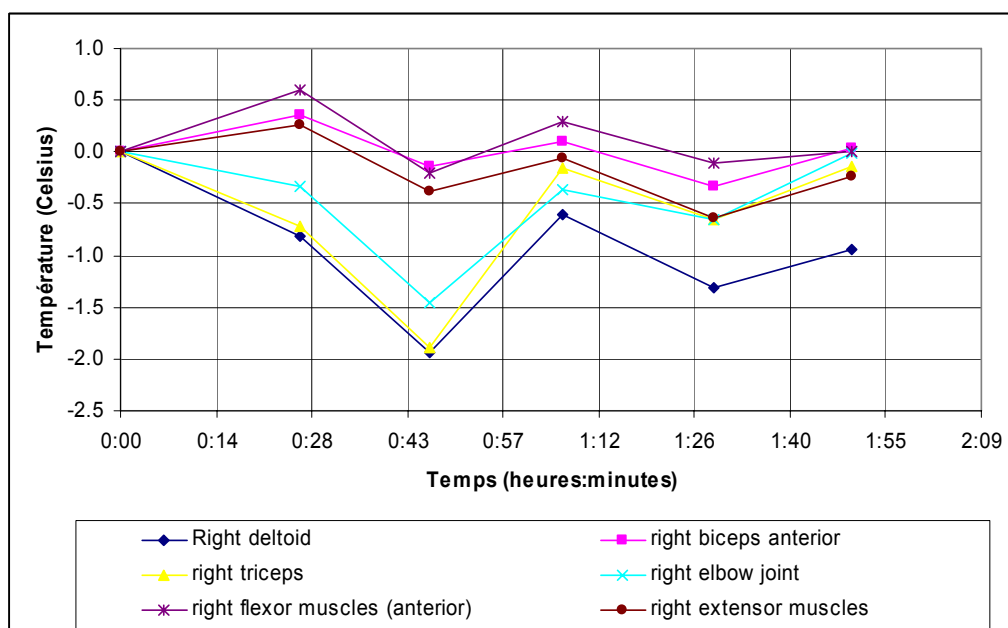


FIGURE 3. Variation de la température de surface des muscles du bras droit pour le sujet n° 3. La température a été ajustée par rapport à la température de départ pour chaque muscle

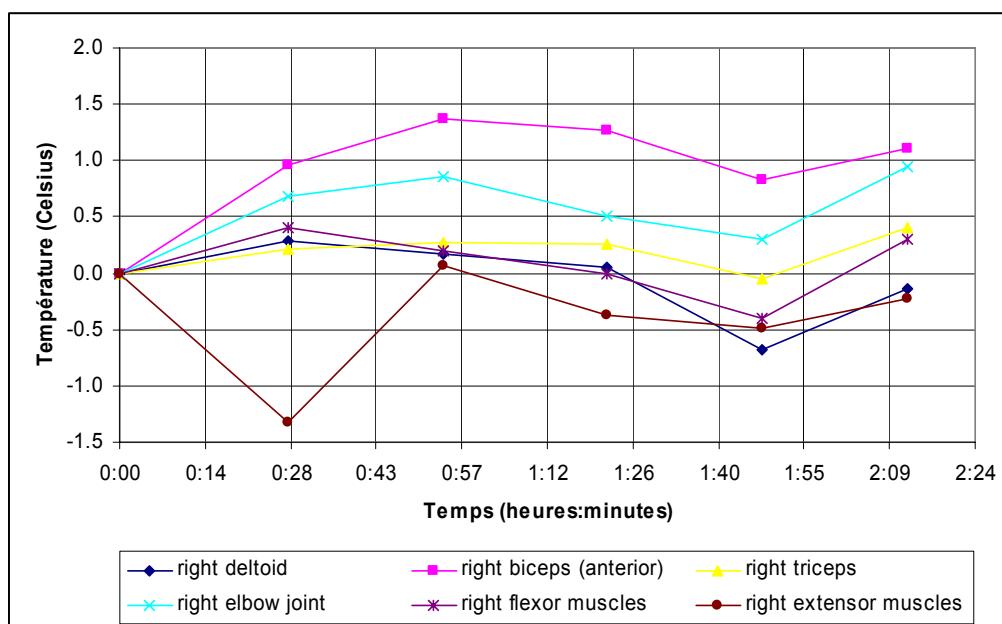


FIGURE 4. Variation de la température de surface des muscles du bras droit pour le sujet n° 1. La température a été ajustée par rapport à la température de départ pour chaque muscle

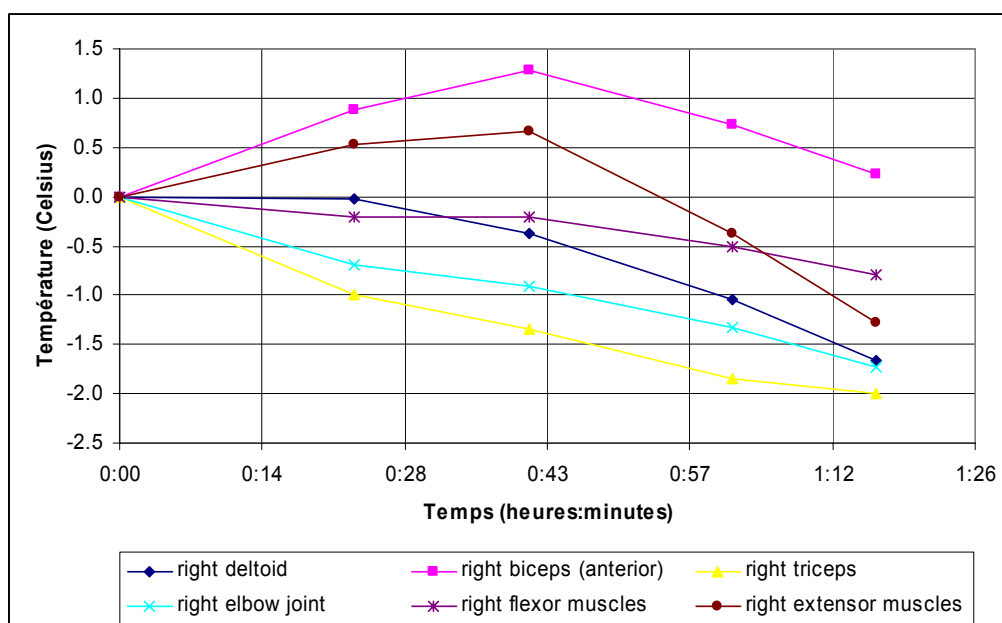


FIGURE 5. Variation de la température de surface des muscles du bras droit pour le sujet n° 9. La température a été ajustée par rapport à la température de départ pour chaque muscle

Les figures 6 et 7 représentent l'évolution de la température des muscles fléchisseurs et extenseurs du bras droit pour les 9 pianistes. La durée de la séance varie selon les pianistes.

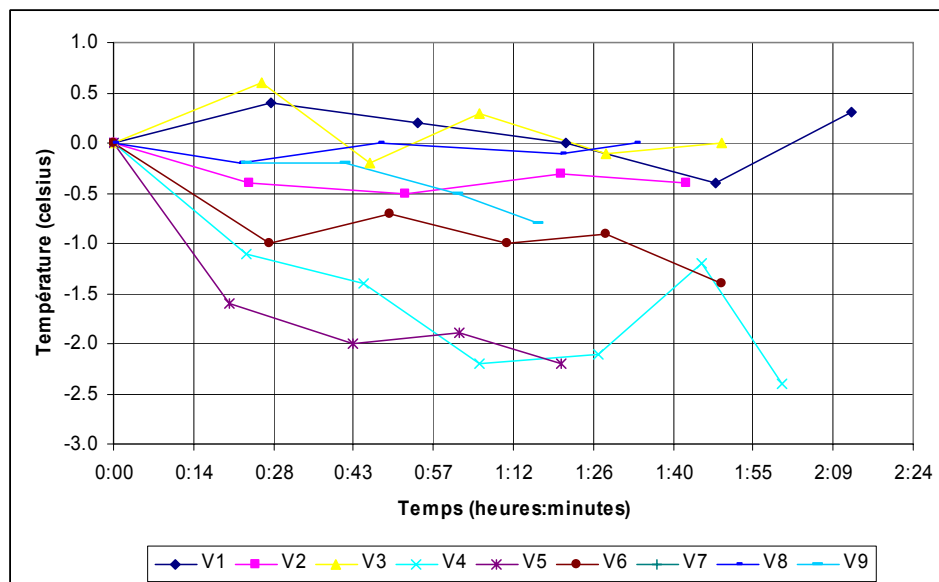


FIGURE 6. Variation de la température de surface des muscles fléchisseurs du bras droit pour tous les sujets. La température a été ajustée par rapport à la température de départ pour chaque sujet

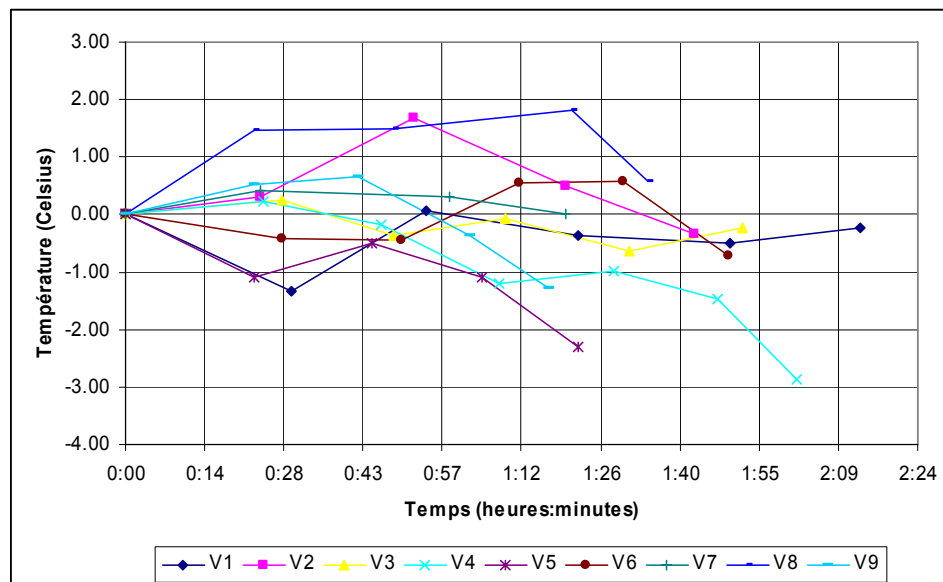


FIGURE 7. Variation de la température de surface des muscles extenseurs du bras droit pour tous les sujets. La température a été ajustée par rapport à la température de départ pour chaque sujet

La figure 8 présente les différences de températures entre les muscles du bras droit et ceux du bras gauche pour le sujet 9 au cours de la séance.

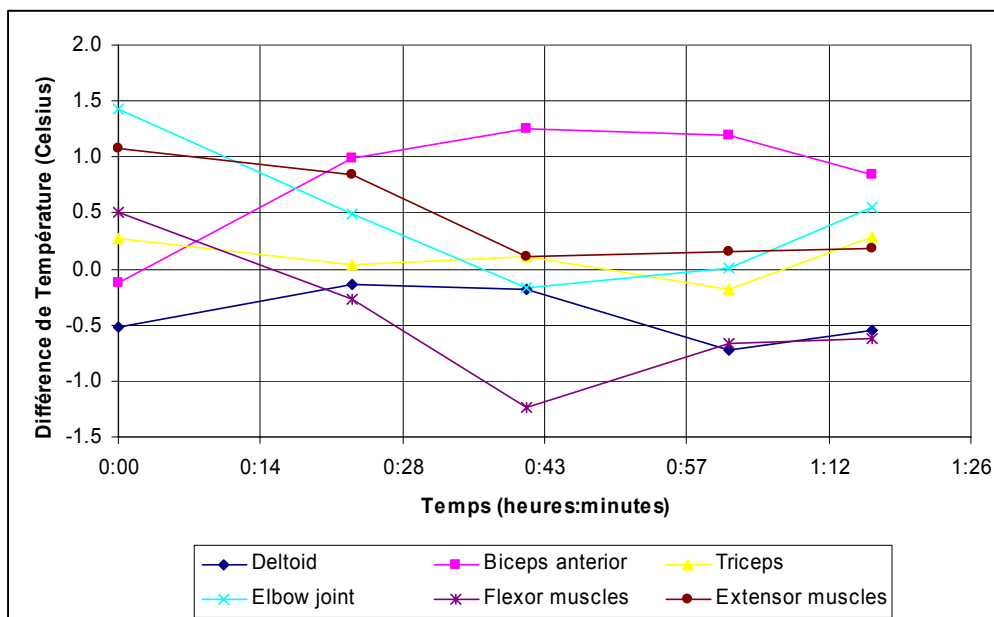


FIGURE 8. Évolution de la différence de température des muscles du bras droit et du bras gauche. Une différence négative (positive) indique une température plus élevée dans le bras gauche (droit)

DISCUSSION

L'évolution de la température de surface des muscles du bras varie de façon significative entre les sujets et des tendances très différentes émergent sur les courbes. Sur la figure 4 par exemple, les températures des muscles baissent lentement au cours de la séance. Par contre, le sujet de la figure 3 voit la température de ses muscles baisser abruptement après environ 30 minutes de travail. Plusieurs études basées sur l'activité électrique des muscles par électromyographie suggèrent une différence d'activité des muscles chez les musiciens suivant l'expérience et le niveau de formation (voir Bejjani, Kaye et Benham [1996] pour une bonne revue de la littérature sur le sujet). Elles insistent notamment sur la baisse d'activité globale, la relaxation des muscles antagonistes (par exemple, muscles fléchisseurs et extenseurs) et l'absence de contractions excessives des muscles chez les musiciens expérimentés. Nos premiers résultats semblent contredire ces affirmations. En effet, la variation de température des muscles extenseurs et fléchisseurs des sujets 1 et 9, tous deux pianistes expérimentés est presque opposée au milieu de la séance, lorsque les morceaux joués sont typiquement les plus difficiles. D'un autre côté, la réponse des muscles fléchisseurs et extenseurs du sujet 3, qui a moins d'années d'expérience, est très

similaire. Cependant, l'ordre et la difficulté des morceaux joués n'ayant pas été contrôlés de façon systématique pour notre première série de tests pour des raisons pratiques, il ne nous est pas possible à ce stade du projet de tirer de conclusions définitives quant à l'activité des muscles antagonistes chez les pianistes de différents niveaux d'expérience. D'autres explications sont également possibles comme la technique de jeu utilisée, l'intensité du jeu ou le manque d'échauffement.

La variation de température de muscles spécifiques peut également varier de manière significative selon les sujets comme le suggèrent les figures 6 et 7, bien que des tendances générales semblent émerger parmi certains participants. Par exemple, on peut noter une baisse significative de la température des muscles fléchisseurs au cours de la séance chez les sujets 5, 6 et 9 ainsi qu'une augmentation significative de la température des muscles extenseurs chez les sujets 2 et 8. Cela pourrait suggérer une utilisation différente des muscles chez ces sujets au cours de la séance bien qu'il soit encore trop tôt pour pouvoir tirer des conclusions définitives.

Il est intéressant également d'étudier la différence de température des muscles entre le bras droit et le bras gauche au cours de la séance. Le niveau d'activité des deux bras n'est pas le même lorsque l'on joue du piano, car la difficulté technique requise par chaque main n'est souvent pas la même. Il apparaît sur la figure 8 que l'activité des muscles des deux bras évolue différemment au cours de la séance chez le sujet 9. Ainsi, les fléchisseurs du bras gauche ont une température plus élevée que ceux du bras droit ce qui peut se traduire par un travail plus intense des muscles du bras gauche, ces muscles étant moins habitués que ceux du bras droit à ce niveau de difficulté.

Ces premiers résultats démontrent qu'il est possible d'étudier le comportement des muscles mis en jeu lors d'une séance de travail au piano. Le faible nombre de sujets ayant participé jusqu'à présent ainsi que les nombreux facteurs influençant la température des muscles utilisés rendent l'interprétation difficile et peuvent expliquer en partie les différences entre les réponses des pianistes. Seul un nombre restreint de paramètres a été considéré jusqu'à présent bien que la base de données en contienne d'autres. D'autres facteurs devront être pris en compte afin de faciliter l'interprétation des données dans la suite du projet (Lederman, 2003) :

- Caractéristiques physiques du pianiste : âge, sexe, années d'expérience, durée des séances de pratiques quotidiennes ;
- Choix des morceaux, ordre dans lequel ils sont joués, difficulté technique des morceaux, style et technique musicale ;
- Travail technique (gammes et exercices) : moment de la pratique où le travail technique est accompli ;
- Échauffement physique et musical.

CONCLUSIONS ET FUTURS TRAVAUX

Nous avons présenté dans cet article nos premiers résultats sur les variations de température des muscles de pianistes lors d'une séance de travail. Nous avons démontré que la thermographie infrarouge peut être un outil important dans l'étude du jeu pianistique en fournissant des renseignements sur l'évolution des températures musculaires. L'interprétation de l'évolution de la température des tissus musculaires a un rôle potentiellement important pour comprendre les interactions entre les muscles, les effets de l'échauffement, de la technique sur les muscles. Ce projet a également pour but de mieux comprendre les mécanismes menant aux troubles musculosquelettiques tout en s'intéressant à une population variée de pianistes, y compris de jeunes pianistes.

Il est clair cependant, au vu des résultats préliminaires, que de nombreux facteurs influencent la température des muscles et son évolution. La suite du projet nous permettra de fournir une interprétation plus pointue de l'évolution de la température des muscles grâce à une population plus large et plus variée, et en contrôlant les différents paramètres influençant les variations de température. L'accent sera également mis sur les effets de l'échauffement physique.

Références

- Bejjani, F. J., G. M. Kaye et M. Benham (1996). « Musculoskeletal and neuromuscular conditions of instrumental musicians ». *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 77, p. 406-413.
- Bertsch, M. et T. Maca (1997). « Visualization of trumpet players' warm up ». *7th European Congress of Medical Thermology*, Vienne.
- Bishop, D. (2003a). « Warm up I : Potential mechanisms and the effects of passive warm up on exercise performance ». *Sports Medicine*, vol. 33 (6) : 439-454.
- Bishop, D. (2003b). « Warm up II: Performance changes following active warm up and how to structure the warm up ». *Sports Medicine*, vol. 33 (7) : 483-498.
- Brandfonbrener, A. G. (2003). « Musculoskeletal problems of instrumental musicians ». *Hand Clinics*, vol. 19 : 213-239.
- Grieco, A., E. Occhipinti, D. Colombini, O. Menoni, M. Bulgheroni, C. Frigo et S. Boccardi (1989). « Muscular effort and musculo-skeletal disorders in piano students: electromyographic, clinical and preventive aspects ». *Ergonomics*, vol. 32 (7) : 697-716.
- Herry, C. et M. Frize (juin 2004). « Quantitative assessment of pain-related thermal dysfunction through clinical digital infrared thermal imaging ». *Biomedical Engineering Online*, vol. 3 (1) : 19.
- Herry, C. L., M. Frize, R. A. Goubran et G. Comeau (septembre 2005). « Evolution of the surface temperature of pianists' arm muscles using infrared thermography ». *Proceedings of the 27th annual international conference of the IEEE EMBS*, Shanghai, China.
- Jones, B. F. (décembre 1998). « A Reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine ». *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 17, no. 6 : 1019-1027.
- Lederman, R. J. (mai 2003). « Neuromuscular and musculoskeletal problems in instrumental musicians ». *Muscle and Nerve*, vol. 27 : 549-561.
- Marieb, E. N. (1995). *Human Anatomy and Physiology*. 3^e éd., Benjamin/Cummings Publishing Company, p. 312-322.

- Nourissat, G., P. Chamagne et C. Dumontier (2003). « Motifs de consultation des musiciens en chirurgie de la main ». *Revue de chirurgie orthopédique*, vol 89 : 524-531.
- Tubiana, R. et P. Amadio, éditeurs (2000). *Medical Problems of the Instrumentalist Musician*. Londres : Martin Dunitz.
- Winspur, I. (2003). « Advances in objective assessment of hand function and outcome: assessment of the musician's hand ». *Hand Clinics*, vol 19 : 483-493.
- Wynn Parry, C. B. (2003). « Prevention of musicians' hand problems ». *Hand Clinics*, vol. 19 : 317-324.
- Zaza, C. (1998). « Playing-related musculoskeletal disorders in musicians: a systematic review of incidence and prevalence ». *CMAJ*, vol. 158 (8) : 1019-1025.

ESTABLISHING A BIOMECHANICAL BASIS FOR INJURY PREVENTATIVE PIANO PADAGOGY*

Donald L. Russell, ARCCO (ChM), Ph.D.
Department of Mechanical and Aerospace Engineering
Carleton University, Ottawa

Abstract

This paper describes some of the issues and areas of study that are critical to establishing a relationship between piano pedagogy, piano technique and playing-related injuries. Studies report that a significant number of pianists suffer from playing-related injuries. Recent studies on the rates of occurrence of various types of playing-related injuries, the factors that contribute to the injuries and the impact of these injuries are briefly reviewed. The need for a broad multi-disciplinary approach is identified and the roles that musicians, medical professionals, experts in biomechanics and piano technicians have in establishing a basis for injury preventative piano instruction are presented. Both the piano and human hand are very complex systems. Several areas of current investigation in biomechanics that are relevant to establishing a basis for piano pedagogy that results in injury free playing are summarized. These areas include clarifying the impact of geometric and muscular redundancy, limb biomechanics, keyboard mechanics and neuromuscular control on playing the piano.

INTRODUCTION

A significant fraction of pianists will at some time experience pain while they play. More significantly, many will suffer injuries, playing-related health problems or playing-related musculoskeletal disorders. In some cases, these injuries will be serious enough that the individual will no longer be able to play the piano. These injuries are occurring in individuals who are very dedicated to their art, who practice carefully and who have had many years of private study. It is important to discover any relationships between the pedagogical and technical approaches and injuries. Numerous studies have been reported in the literature that identify the types of injuries that arise from playing the piano and their frequency of occurrence. It is not the purpose of this paper to provide an exhaustive summary of these studies but to present some examples to serve as a context for the investigation of the biomechanics of playing.

* As identified in this paper, research in piano pedagogy and the biomechanics of pianist-piano interaction is a highly multidisciplinary field. This work could not have been completed without the support and collaboration of the Prof. Gilles Comeau and the students and staff of the Piano Pedagogy Research Laboratory at the University of Ottawa, particularly, Mr. Jason Ray. I also acknowledge the financial support of the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada.

The biomechanical circumstances that give rise to these injuries are complex and the differences between playing techniques that allow these injuries to occur and those that prevent injuries may be subtle. The action of playing a piano involves the interaction of a mechanical device (the piano action) and a biomechanical system (the human arm). The purpose of this paper is to illustrate some of the biomechanical features of the human arm and hand and to relate these to pedagogical practice.

PLAYING-RELATED INJURY

Data on playing-related health problems has been gathered using a variety of approaches. In this section, a small sample of the results that have been reported will be presented with an aim of illustrating what is known in this area and the difficulties in obtaining applicable data. The published results are used here to address issues of injury rate, injury type, factors that may contribute to the injuries, and the impact of these injuries. Note that injured musicians are not always willing to admit their pain or injuries for a number of reasons including the fear that widespread knowledge of an injury may impact their careers or concern over the reaction of their teachers (Bressler, 2000). It is difficult to identify the numbers of these injuries that simply go unidentified and untreated, for example, some are hesitant to report pain or injury due to a fear of physicians and hospitals (Zaza, 1995). In some cases, the music simply stops.

Injury rates

The numbers of pianists that experience playing-related health problems, as reported in the literature, vary widely. A thorough review of injury rates of musicians in general has been performed by Zaza (1998). More recent results generally agree with her conclusion that the prevalence of playing-related musculoskeletal disorders ranges from 39% to 47% among adults and is lower (17%) among high school students. Variation in the reported figures is large and can be at least partially explained by differences in the approaches used to collect the data, the interpretation of what it means to have a playing-related injury, and the populations studied. Examples of more recent studies include Morse (Morse, Ro, Cherniack and Pelletier, 2000), who finds that 33% of keyboard players suffer upper extremity musculo-skeletal disorders. Cayea and Manchester (1998) examined university-level music students and found that 13.1% of pianists asked for medical care. This figure is lower than most other reported injury rates but this may be because the data only identified those who sought help through a specific pre-paid health plan. In a study of 341 pianists, both professional and amateur, aged 8 to 70, researches in Spain (Rosety-Rodriguez et al, 2003) found that 65.1% either currently had a repetitive strain injury or had previously had a repetitive strain injury. Overall, it can be reliably concluded that the rate of playing-related health problems amongst musicians in general and pianists in particular is high,

perhaps second only to the rate of occurrence of these types of injuries resulting from computer use (Morse, Ro, Cherniack and Pelletier, 2000).

Factors that may contribute to playing related injuries

In these and others studies researchers have worked to identify factors that may indicate an increased incidence of injury. For example, in a recent paper by De Smet, Ghyselen, and Lysens (1998), 28 of 66 (42%) pianists studied presented overuse syndromes of the wrist, hand or elbow. In this work researchers considered the factors that might indicate an increased likelihood of injury. The only factor that served as predictor of injury was small hand size. They identified no significant correlations with starting age, with other instruments played, with the use of warm-ups or stretching, with the intensity or duration of practice, with hypermobility or with gender. Cayea and Manchester (1998) also found no difference in injury rate between male and female students. They also found that organ students had a much lower rate of injury than pianists (7.2%) which is surprising as organ students usually spend considerable time practicing on the piano and when playing the organ the feet are generally not useful to provide postural support. Shields and Dockrell (2000), in a study of injuries in 182 pianists in Irish music schools, found that 25.8% suffered injury but that there was no significant difference between male and female students.

Types of injuries

Musicians typically search out a variety of medical professionals to help with their healing. These include physical and occupational therapists, general practitioners as well as specialists such as orthopedic surgeons. Because of the number of sources of help for injured pianists, it is difficult to get a good picture of the distribution of the various types of injuries. In a study examining the reasons that injured musicians¹ consult hand surgeons (Nourissat, Chamagne and Dumontier, 2003) three major groups of problems were identified. The researchers state that 18% of the patients showed signs of overuse, another 8.8% of the patients showed signs of misuse and 5.7% had dystonia². They also state that the level of dystonia among their sample population is probably significantly lower than that in the general population of musicians since individuals with dystonia general consult physical therapists and not surgeons. Overall two-thirds of their patients had musculo-skeletal disorders.

1 41% of the patients were pianists.

2 Dystonia is a state of abnormal muscle tone.

Sakai (2002) examines the different types of hand pain experienced by a group of 200 pianists. Pain due to tendon inflammation was found in 28% of the cases, enthesopathy³ was found in 24.5% of cases, and muscle pain in 19% of the cases. Neurological problems (including dystonia) were found in 14% of the patients, finger joint pain in 11% of the cases and neck pain or pain in the torso in 2.5% of the cases. It is also suggested here that the pain is often the result of hyper-abduction of the thumb and little finger as would be required in playing large chords.

Impact of injuries

The impacts of these injuries are varied and affect many aspects of the pianists' life as well as society as a whole. The injured pianist (Hochberg, Leffert, Heller and Merriman, 1983) may suffer from loss of control (34%), a diminished facility in playing (18%), reduced endurance (18%), or reductions in the maximum speed (18%) when executing fast, forte passages.

Economic losses include loss of income which is often compensated for by a change in career focus. Medical costs for treatment can be significant. Of serious injuries requiring the consultation of a hand surgeon, surgery was proposed for about 19% of the patients in an attempt to address the problem (Nourissat, Chamagne and Dumontier, 2003). Other cases require consultations with various medical professionals and generally involve some therapy (primarily physical therapy). While it is difficult to state the economic costs of these injuries to musicians some information is available on the general costs of this type of injury.

Within the federal workforce in the United States (Feuerstein, Miller, Burrell and Berger, 1998), the mean number of work days lost for individuals with carpal tunnel syndrome was 84 and for those with enthesopathy, 79. Injured musicians may seek alternate sources of income during this time. The mean treatment costs for carpal tunnel syndrome were \$4,941 while for enthesopathy the mean costs were \$4,477. The health care costs for mononeuritis and enthesopathy claims in this study were \$12,228,755 (in 1994 US dollars) with the average cost being \$2,849. A 1989 study by Webster and Snook (Webster and Snook, 1994) in the United States of upper extremity cumulative trauma disorder related insurance claims indicated that the average cost to an insurer for an injury was (in 1989 US dollars) \$8,070. Of this total, medical costs represented 32.9% and indemnity costs were 65.1%. The total cost of all such injuries in the United States was estimated at \$563 million during the study year, 1989. Considering that musicians may be the second largest group within this population behind computer users (Morse, Ro, Cherniack and Pelletier, 2000), the cost of these injuries is substantial.

3 Enthesopathy is disease located where muscle tendons and ligaments are attached to bones or joint capsules.

THE NEED FOR A MULTIDISCIPLINARY APPROACH

Gaining an understanding of the causes of playing-related injury in pianists requires a strong multidisciplinary approach. While some excellent research work (see, for example, Zaza [1995] and Bressler [2000]) has been done that begins to build an understanding of the causes of these injuries, many challenges still exist in coming to a complete understanding of the relationship between:

- the pedagogical approach used in the individual's piano training,
- the biomechanics of the movements involved in playing the piano,
- the injuries that result in a significant number of serious piano students, and
- the piano itself.

Remember that these injuries are happening both to individuals early in their piano studies as well as to those who have trained for many years under the private tutoring of accomplished musicians. In a study on the practices of piano teachers in preventing injury, Redmond and Tiernan (Redmond and Tiernan, 2001) found several interesting results. While piano teachers are generally skilled in both playing the piano and in teaching piano technique, they do not generally have a solid understanding of the relationship between the pedagogical approaches they use and the resulting biomechanical requirements. The survey found that piano teachers passed on the knowledge they had acquired from their teachers or from their own experiences on piano playing-related injuries but that there was also some indication that they showed hesitance in doing so. The hesitation is possibly due to the limited understanding of these relationships and the lack of formal training that pianists have in this area. This lack of training is not a surprise given the complexities of the biomechanics of the limb, with its complex and inter-related systems of nerves, bones, and muscles. In fact, as will be explained below, there are several areas of current research in the field of biomechanics that are key to understanding the relationship between pedagogy, playing technique and the biomechanics of any injuries that result.

Much existing work (for example, Zaza [1995]) focuses on the roles of two groups of people in dealing with playing-related injuries — the piano teacher and the medical profession. In order to gain a complete understanding of the relationships between the issues listed above, there are at least two additional groups of people that have a central role to play in the work — the biomechanical engineer and piano technicians. Below are the roles that these four groups of individuals can play in addressing these issues.

Musicians. Any study of the injuries that result from playing the piano must be done with a full appreciation of the art and those who teach it. The words we use to describe piano technique and approaches to specific technical challenges often imply body movements in an imprecise way (from the point of view of an engineer). A thorough understanding of pedagogical approaches and the various schools of piano technique

is required in order to make progress in understanding the biomechanical implications of the movements. The nature of the relationship between student and teacher is an important link in the chain that may lead to injury.

Medical professionals. Various groups of individuals within the medical profession serve as the primary sources of care for injured pianists. These people that see and treat large numbers of these playing-related injuries, have a unique perspective on possible relationships between causes and injuries. Their expertise goes beyond the statistics describing the rates of occurrence of these injuries. The collected anecdotal evidence that they possess can play an important role in gaining the required understanding. It is important to note that in most cases medical professionals are called upon only after an injury has occurred.

Biomechanical engineers and neuroscientists. Any study of human movement requires developing and understanding of the body as a complicated biomechanical system. The relationships between the motion of a limb, the muscles which cause the motion and the complex system of nerves that control the motion are mathematically involved and many counter-intuitive results arise from the analytical and experimental study of these relationships. These issues are all the more difficult in the case where the limb comes into contact with an object, in this case the piano key. Muscle and tendon properties are far more difficult to understand than typical engineering materials. These areas of study are progressing rapidly and are of critical importance in order to provide a solid biomechanical foundation for the development and presentation of sound approaches to piano pedagogy. Errors, misconceptions and a lack of awareness of these issues are common in the pedagogical literature⁴.

Piano technicians. We must not forget the important role of the piano itself. Changes in regulation of the piano may make a significant impact on the approach an individual may have to playing that piano. Piano technicians (and piano manufacturers) deal not only with the technical requirements of keeping instruments in good working order but in adjusting them to suit the demands of students and performers. They too have an extensive base of empirical, if sometimes anecdotal, knowledge which should play a role in the research.

All of these four groups have unique bodies of knowledge all of which must be incorporated into work that aims at gaining a complete and in-depth understanding of piano playing and playing-related injuries.

4 For example, Ortmann (in his book *The Physiological Mechanics of Piano Technique*), defines weight as mass per unit volume. This is completely wrong and makes it difficult to understand his discussion of the use of arm weight in playing.

BIOMECHANICAL ISSUES

The remainder of this paper will present a summary of some of the key biomechanical results and questions that are fundamental to relating pedagogy and the mechanics of piano performance to the injuries that occur. In some cases, the knowledge base is solid, and in others much work needs to be done. These issues will be illustrated by considering some of the critical events that occur between the brain “deciding” to play a note and the actual depression of the key.

Movement — Key depression

When the hammer hits the string it is moving as a projectile — the action in the piano has thrown it onto the strings. It is clear that after the hammer has been thrown there is nothing that can be done to change the sound that will result. A basic physical argument would require that the only critical variable in this event is the velocity of the hammer when it begins its flight toward the strings. If this is true then the only important feature of the motion of the key as it moves downward is its speed at this instant.

However, it is known (Askenfelt and Jansson, 1991) that the shank of the hammer is flexible enough that it bends as it accelerates towards the strings (during the time when it is in contact with the jack). There is mechanical energy stored in the bent shank that is released as it straightens (like using a long stick as a whip). If the shank bends during the motion, it will not only fly up and hit the string but it will be flexing as it does so. If this is significant in terms of the resulting hammer-string interaction, and it seems reasonable to think it might be, then the motion of the *key* during its entire movement is very important. The details of the time course of key depression will determine not only how much the hammer shank bends but also the relative timing of the release of the energy stored on flexing the shaft and the impact of the hammer on the string. These motions are very fast and careful study is required to determine the degree to which hammer vibration may allow a pianist control over the resulting sound.

It is said in many places that a piano technique that results in vertical motion of the finger is in some way *efficient*. This reflects a kinematic (motion-based) approach to building an understanding of playing. However, it is clear from mechanical studies that during contact it is often more efficient to push or pull in a direction in which motion does not occur. The basic (and subtle) reason for this arises from the fact that it is more efficient to push on the object using an “efficient” combination of muscles and relying on a constraint to direct the motion than to use a less “efficient” set of muscles to direct the forces and movements in a particular direction.

Geometry — Kinematic redundancy

While the key motion is mechanically well defined, the motion of the finger that causes it is not. Not only can the finger take on a variety of shapes during the motion but the different joints in the finger can be moved differently to create the depression of the key. Beyond the finger, the wrist, elbow, shoulder and the rest of the body can all contribute to the motion that results in the depression of the key. These motions are not random but are the result of the pianist's choice of technique and posture. Each configuration will place different loads on the joints and ligaments, will require different sets of muscles to create the motion, and, will place different requirements on the concentration and skill required to produce the movement. The different movements may all create an identical tone. The differences between the movements are thus critical in examining the demands on the performer and possible injuries that may result.

Some research has been performed in comparing these motions and their biomechanical implications. See for example Bejjani et al (1989) who studied the implications of three different piano techniques (finger shapes). This work was a pilot study that measured muscle activities, finger and arm movements as well as sound to assess a proposed technique for investigating the effects of different finger shapes. Noting that only one subject was used in their pilot study, they found that forces were minimized with a curved finger. Wolf et al (1993) looked at the relationship between joint forces and technique. Their study considered eight experienced professional pianists and they concluded that increased experience resulted in reduced key contact forces. In general, they also found that more rounded finger shapes resulted in lower tendon forces. The large number of configurations possible makes this a large area of study.

Geometry — Muscular redundancy

Unlike typical robotic systems, the human arm has many more muscles than movement degrees of freedom. In addition to the complexities inherent in muscle as an actuator, muscles also have complex geometric relationships to the motions of the joints that they move. Another challenge results from the fact that most muscles generate more than one movement. The biceps muscle has a role to play in lifting the forearm away from the keyboard. However, it also has a significant role in shoulder motion and forearm pronation / supination (the rotation of the forearm so as to move from a palm up to palm down position or vice-versa). When the biceps muscle contracts on its own all three of these movements can happen. Other muscles must also be activated to resist some of these motions in order for the others to happen. This is also true of most of the muscles that move the fingers. As they also pass the wrist, their contraction will also tend to cause the wrist to bend. This must then be counteracted by other muscles. Not only do single muscles cross multiple joints but in some cases they move multiple fingers.

While these anatomical features are well documented, the mechanical implications of these facts are complicated and in many cases counter-intuitive. Careful examination of various playing techniques is required to assess the impact of muscular redundancy on their likelihood of resulting in injury.

Muscular interaction — Stiffness effects

Muscles can only pull, they cannot push. In order for any joint to move in both directions at least two muscles are required — one to extend the joint and the other to flex the joint. In biomechanics this is referred to as an agonist-antagonist pair of muscles. The ability to move in both directions is one of the reasons for the muscular redundancy outlined above but a second, perhaps more fundamental mechanical attribute can be affected by this muscular redundancy. This attribute is the stiffness of the joint (or joints). When two muscles act in agonist-antagonist pairs, they can be activated so that no motion occurs — if they both pull an equivalent amount the joint will not move. When this occurs the major effect is that the stiffness of the joint increases. In most schools of piano technique, the stiffness of the limb is to be minimized — a relaxed and flexible wrist is generally considered ideal. This goal of relaxed movement has complex biomechanical implications. Muscle properties are such that, even when no neural input is activating a muscle, a force is required to change its length as a result of its passive stiffness.

An additional factor here is that muscles are arranged in a far more complicated pattern than simply having a set of two muscles acting as an agonist-antagonist pair about each joint. As an example, consider that there are stiffness implications when using the biceps supinate the forearm without flexing the elbow. When a third muscle is used to oppose the action of the biceps in flexing the elbow while still allowing the supination of the forearm there will be a net increase in the stiffness of the elbow joint. The situation is further complicated by the fact that the biceps also crosses the shoulder joint — flexing the biceps alone will also cause the upper arm to lift. To keep the shoulder from rotating additional muscles acting around the shoulder must prevent the motion. As a result, the shoulder will also stiffen.

The mechanical and geometric configurations of the muscles and joints of the arm and hand mean that in considering the muscular requirements for a given movement, the entire arm and the inter-relationships between all muscles must be considered. The implications of these facts can, again, be quite surprising and counter-intuitive. As well, it is important to recognize that, because of its properties, the human arm, hand and finger cannot be considered as either a pure motion generator or as a pure force generator.

Neuromuscular control

To add a final layer of complexity, the brain and spinal cord play a significant role in determining which muscles get used for a specific task. Once a desired movement is recognized, the brain, based on past patterns of behaviour, complex inter-relationships between past and future movements, and many other issues, selects the muscles that will create the movement. The manner in which this is done is another current and challenging area of research that must be considered when evaluating various technical approaches to piano performance.

Transmission of the neural signals from the brain to the muscles in the arm takes time as does the transmission of neural signals from sense organs in the hand or from the ears back to the brain. These delays depend on the muscles and senses involved but the total delay between the brain sending a command to a muscle and sense organs making the brain aware of the result of that command is at least $1/20$ of a second and can be as high as $1/5$ of a second. Whatever the precise delay time after the brain issues a command for a particular note, many other notes can be played before the brain is aware of the results of playing the first note. From a control engineering point of view, this dramatically increases the complexity of understanding how the brain might be controlling these rapid movements.

CONCLUSIONS

The mechanics of the piano and the biomechanics of the human limb can each form the basis of a complex field of study. In particular, in order to understand the links between technique, pedagogy, performance and injury in pianists it is important to:

1. Advance our understanding of the mechanics of the piano action;
2. Study the wide variety of limb configurations and their impact on the biomechanics of depressing a key or sequence of keys;
3. Study the impact of muscular redundancy on overuse injuries, and in particular, to examine various schools of piano technique in terms of their ability to take advantage of muscular redundancy;
4. Study the impact of muscular redundancy on limb stiffness in the context of technical requirements, and;
5. Consider the implications of neuromuscular control issues on the resulting motions and muscular contractions.

Each one of these areas is challenging. Much is already known about these areas individually but considerable research is required to integrate and understanding of all of these aspects of the biomechanical performance of the arm and hand in order to more completely assess the relative merits of various approaches to playing and teaching the piano.

References

- Askenfelt, A. and E. V. Jansson (Nov. 1991). « From touch to string vibrations. 2. The motion of the key and hammer ». *J. Acoust. Soc. Am.* 90 (5): 2383-2393.
- Bejjani, F. J., L. Ferrara, Naiming Xu, C. M. Tomaino, L. Pavlidis, Junli Wu and J. Dommerholt (1989). « Comparison of three piano techniques as an implementation of a proposed experimental design ». *Medical Problems of Performing Artists* 4 (3): 109.
- Bressler, N. (2000). « Behind closed doors: a qualitative study exploring the pedagogical practices of piano teachers ». Master's Thesis, McMaster University.
- Cayea, D. and R. Manchester (1998). « Instrument-specific rates of upper-extremity injuries in music students ». *Medical Problems of Performing Artists* 13 (1): 19.
- De Smet, L., H. Ghyselen, and R. Lysens (1998). « Incidence of overuse syndromes of the upper limb in young pianists and its correlation with hand size, hypermobility and playing habits ». *Chir. Main.* 17 (4): 309-13.
- Feuerstein, M., V. L. Miller, L. M. Burrell and R. Berger (1998). « Occupational upper extremity disorders in the federal workforce. Prevalence, health care expenditures, and patterns of work disability ». *J. Occup. Environ. Med.* 40 (6): 546-55.
- Hochberg, F. H., R. D. Leffert, M. D. Heller and L. Merriman (1983). « Hand difficulties among musicians ». *JAMA* 249: 1869-1872.
- Morse, T., J. Ro, M. Cherniack and S. R. Pelletier (2000). « A pilot population study of musculoskeletal disorders in musicians ». *Medical Problems of Performing Artists* 15 (2): 81.
- Nourissat, G., P. Chamagne and C. Dumontier (2003). « Reasons why musicians consult hand surgeons ». *Chir. Orthop. Reparatrice Appar. Mot.* 89 (6): Rev 524-31.
- Redmond, M. and A. M. Tiernan (2001). « Knowledge and practices of piano teachers in preventing playing-related injuries in high school students ». *Medical Problems of Performing Artists* 16 (1): 32.
- Revak, J. M. (1989). « Incidence of upper extremity discomfort among piano students ». *Am. J. Occup. Ther.* 43 (3): 149-54.

- Rosety-Rodriguez, M., F. J. Ordez, J. Farias, M. Rosety, C. Carrasco, A. Ribelles, J. M. Rosety and M. Gómez del Valle (2003). « The influence of the active range of movement of pianists' wrists on repetitive strain injury ». *Eur. J. Anat.* 7 (2): 75-77.
- Sakai, N. (2002). « Hand pain attributed to overuse among professional pianists: a study of 200 cases ». *Medical Problems of Performing Artists* 17 (4): 178.
- Shields, N. and S. Dockrell (2000). « The prevalence of injuries among pianists in music schools in Ireland ». *Medical Problems of Performing Artists* 15 (4): 155.
- Webster, B. S. and S. H. Snook (1994). « The cost of compensable upper extremity cumulative trauma disorders ». *J. Occup. Med.* 36 (7): 713-7.
- Wolf, F. G., M. S. Keane, K. D. Brandt and B. M. Hillberry (1993). « An investigation of finger joint and tendon forces in experienced pianist ». *Medical Problems of Performing Artists* 8 (3): 84.
- Zaza, C. (1995). « Musicians playing related musculoskeletal disorders: an examination of physical, psychological, and behavioural factors ». Ph.D. Thesis, University of Waterloo.
- Zaza, C. (1998). « Playing-related musculoskeletal disorders in musicians: a systematic review of incidence and prevalence ». *Canadian Medical Association Journal* 158 (8): 1019-1025.

NOTICES BIOGRAPHIQUES DES AUTEURS

Marion Barfurth

Over the last fifteen years, Dr. Barfurth has been working in the area of pedagogical innovation, and the integration of technology in the learning and teaching process. As an educational psychologist, her current research is in the areas of computer supported collaborative learning, and the evaluation and research of innovative technologies for change in teacher practice. She has a Ph.D. in Educational Psychology from McGill University, a Master in the Teaching of Mathematics, and a Bachelor in Mathematics and Economics from Concordia University. Dr. Barfurth has published widely in the fields of teaching and learning with technology, emerging technologies and professional development. She teaches in the areas of technology integration, theories of learning and mathematics education. Central to Dr. Barfurth's teaching is guiding students to develop and apply knowledge creatively in their areas of interest. She has affiliations with the National Research Council of Canada, the Museum of Nature and various Ministries and School Boards across the country.

Martin Brooks

Martin Brooks leads the Broadband Visual Communication Research Program (BVC) at NRC's Institute for Information Technology. The BVC objective is to catalyze large-scale deployment of broadband networks, thus maintaining Canada's place as a world leader in advanced ICT technology. Brooks was the Research Manager for the \$4M LearnCanada project (www.LearnCanada.ca) and the \$1.4M MusicGrid project (www.MusicGrid.ca). Brooks has previously led NRC's Interactive Information and Knowledge Systems research groups. Prior to coming to NRC, Brooks carried out research in robotics, artificial intelligence, and software engineering at SINTEF, in Oslo Norway. Brooks has a B.A. in mathematics from MIT and Ph.D. in Computer Science from Stanford University.

Gilles Comeau

Gilles Comeau est titulaire d'un Ph.D. en fondements de l'éducation musicale, obtenu en 1995 à l'Université de Montréal. Il a ensuite poursuivi des études post-doctorales en pédagogie du piano de 1995 à 1997 sous la direction de Marc Durand et Gilles Manny. Actuellement professeur au Département de musique de l'Université d'Ottawa, M. Comeau y coordonne les secteurs de la pédagogie du piano et de l'éducation musicale. Il a obtenu plusieurs subventions de recherche, notamment de la Fondation canadienne pour l'innovation et du Fonds ontarien pour l'innovation, qui lui ont permis de réunir 1,2 millions de dollars pour la création d'un laboratoire de recherche en pédagogie du piano.

Au cours des quatre dernières années, M. Comeau a mis sur pied plusieurs groupes de recherche multidisciplinaires qui se penchent sur différents aspects de l'apprentissage et de l'enseignement du piano. Il est l'auteur de nombreux ouvrages, en particulier *Comparaison de trois approches d'éducation musicale. Jaques-Dalcroze, Orff ou Kodály ?* et les cinq volumes de la série *Histoire illustrée de la musique pour les jeunes musiciens*. Il a également réalisé plus de 20 trousseaux pédagogiques destinées aux enseignants en musique et en art, et rédigé diverses études sur l'éducation musicale et la pédagogie du piano.

Martin Côté

Martin Côté received his B.a.Sc degree in Computer Engineering from the University of Ottawa in 2005. He is currently working on obtaining his Master's in the field of Electrical Engineering at the University of Ottawa, studying adaptive segmentation techniques for the purpose of gesture analysis within unconstrained environments.

Alain Desrochers

Alain Desrochers est titulaire d'un doctorat en psychologie expérimentale de l'Université Western Ontario. Il occupe présentement un poste de professeur à l'École de psychologie de l'Université d'Ottawa. Son expertise en recherche porte sur le traitement cognitif des mots et autres types de symboles. Ses intérêts de recherche en cognition musicale sont centrés sur le développement des compétences en lecture musicale, l'exécution au clavier et l'encodage mnésique des pièces musicales consécutif à la lecture ou à l'écoute.

Bruno Emond

Bruno Emond est professeur au département des sciences de l'éducation de l'Université du Québec en Outaouais et agent de recherche à l'Institut de Technologie de l'Information (Conseil national de recherche Canada). Ses intérêts de recherche portent sur l'apprentissage dans les environnements multimédias et les réseaux à larges bandes passantes, ainsi que sur les technologies de modélisation cognitive pour l'analyse et la simulation des mécanismes d'apprentissage et de performance. Dr Emond est titulaire d'un baccalauréat et d'une maîtrise en philosophie de l'Université de Montréal, et d'un doctorat en psychologie de l'éducation de l'Université McGill.

Monique Frize

Monique Frize obtient un diplôme en ingénierie électrique à l'Université d'Ottawa, une maîtrise en ingénierie biomédicale à l'Imperial College de Londres, et un doctorat à l'Erasmus Universiteit de Rotterdam, aux Pays-Bas. Elle a publié plus de 130 articles dans des journaux scientifiques et dans les comptes rendus de congrès internationaux, dans les domaines de l'instrumentation médicale, de l'intelligence artificielle appliquée à la médecine, de l'éthique, et des femmes en science et en ingénierie. Monique Frize est

membre senior du IEEE, membre de l'Académie canadienne du génie depuis 1992, Officier de l'Ordre du Canada depuis 1993, et titulaire de quatre doctorats honorifiques. Elle est membre de l'Association of Professional Engineers of Ontario et professeure en génie des systèmes à l'Université Carleton et à l'Université d'Ottawa.

Rafik A. Goubran

Rafik A. Goubran a obtenu ses diplômes de baccalauréat et de maîtrise en sciences en génie électrique de l'Université du Caire en Égypte en 1978 et 1981 respectivement. Il a reçu son diplôme de docteur en génie électrique en 1986. En janvier 1987, il joint le département de génie informatique et des systèmes à l'Université Carleton, dont il est maintenant professeur et directeur. Dr Goubran a participé à plusieurs projets avec des organisations gouvernementales et dans l'industrie. Ses intérêts dans le domaine de la recherche incluent le traitement numérique du signal et ses applications au génie biomédical et au domaine de l'audio : transmission de la parole par les réseaux IP, annulation du bruit et de l'écho, et formation de faisceaux en utilisant des matrices de microphone. Il est membre de l'IEEE et de l'Association des ingénieurs de l'Ontario.

Isabelle Green-Demers

Isabelle Green-Demers est titulaire d'un doctorat en psychologie sociale expérimentale de l'Université d'Ottawa. Elle est présentement rattachée à l'Université du Québec en Outaouais où elle occupe un poste de professeure agrégée et où elle assume la direction du Module de psychologie depuis juin 2001. Elle est également affiliée à l'Université d'Ottawa à titre de professeure associée. Son domaine d'expertise privilégié en recherche est la motivation humaine et l'autorégulation des émotions. Elle a étudié la musique, le piano et la flûte pendant près de 20 ans et elle est titulaire d'un diplôme de 8^e degré en piano de l'extension du programme de musique de l'Université Laval. Dans le domaine de la musique, ses intérêts de recherche concernent l'autorégulation de la motivation à la pratique régulière. Le développement d'un haut niveau d'habiletés en musique exige une somme considérable de temps et d'efforts. Le développement des habiletés motrices, cognitives et artistiques nécessaires doit s'appuyer sur une pratique répétitive et fastidieuse. De plus, les progrès réalisés ne sont pas toujours faciles à discerner. L'étude des sources de motivation à l'endroit de la musique et l'examen des stratégies que les gens utilisent pour gérer leurs émotions négatives et raviver leur intérêt peuvent conduire à une meilleure compréhension des facteurs impliqués dans la persévérance ou dans le décrochage de la pratique musicale.

Christophe Herry

Christophe Herry a obtenu son diplôme d'ingénieur en génie électrique de l'Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG), France en 2000 et sa maîtrise en sciences appliquées (génie électrique) de l'Université Carleton, Ottawa, Canada, en 2002. Sa thèse

de maîtrise traite de l'utilisation des techniques d'imagerie thermique infrarouge pour évaluer la douleur chez les adultes. Il poursuit actuellement des études de doctorat au département de génie informatique et des systèmes à l'Université Carleton, Ottawa, sous la supervision de Monique Frize et Rafik Goubran. Sa recherche porte sur la détection et la classification d'anomalies dans les images thermales infrarouges d'êtres humains. Ses autres centres d'intérêt en recherche sont les applications du traitement numérique du signal et de l'intelligence artificielle au domaine médical. Christophe Herry est assistant de recherche et assistant de cours au département de génie informatique et des systèmes à l'Université Carleton. Il est également chercheur adjoint au Medical Information Technologies Research Group (MIRG). Il est membre étudiant de l'IEEE et de l'EMBS.

Nisreen Jardaneh

Nisreen Jardaneh is a graduate student in Music at the University of Ottawa. She received her music degree from the Associated Board of the Royal Schools of Music in the United Kingdom in 1996, a BA in Business Administration from the University of Jordan in 2000, and an MS in Marketing from the University of Birmingham, UK, in 2002. She has recently completed her Graduate Certificate in Piano Pedagogy Research at the University of Ottawa, and is now doing an MA in Music. She has been a member of a multidisciplinary research team at the Piano Pedagogy Research Laboratory for the past two years.

Ali Khanafar

Ali Khanafar is working towards his B.A.Sc. degree in Electrical Engineering with Computing Technology option at the School of Information Technology and Engineering at the University of Ottawa, and is expected to graduate in 2007. His interests include software development and programming.

Pierre Payeur

Pierre Payeur a obtenu ses diplômes de baccalauréat ès sciences appliquées, de maîtrise ès sciences et de doctorat (Ph.D.) en génie électrique de l'Université Laval, en 1992, 1994 et 1999 respectivement. Sa thèse de doctorat, réalisée au Laboratoire de vision et systèmes numériques, porte sur l'exploitation des ocrées probabilistes pour la modélisation d'environnements tridimensionnels et le guidage d'un télémanipulateur au travers des obstacles. En 1991 et 1992, il a travaillé à titre d'assistant de recherche pour le Laboratoire d'électrotechnique, d'électricité de puissance et de commande industrielle (LEEPCI) de l'Université Laval où il a participé à l'étude et au développement de contrôleurs industriels numériques. En 1994, il a reçu la prestigieuse bourse de la Fondation Gordon M. MacNabb. De 1997 à 1998, il a aussi été chargé de cours en commande de procédés industriels. Depuis décembre 1998, il a joint l'Université d'Ottawa à titre de professeur adjoint à l'École d'ingénierie et de technologie de l'information (ÉITI) où il a participé à la

création et au développement du Laboratoire de recherche en vision, imagerie, vidéo et systèmes autonomes (VIVA). Ses intérêts de recherche actuels sont la modélisation volumétrique 3D, le traitement d'images de profondeur, le guidage de robots, la téléopération et l'intégration de la vision artificielle dans le contrôle des systèmes autonomes. Pierre Payeur est membre de la IEEE, de la IEEE Robotics and Automation Society, de la IEEE Instrumentation and Measurement Society et de l'Ordre des Ingénieurs du Québec.

Donald Russell

Donald Russell is an Associate Professor in the Department of Mechanical and Aerospace Engineering at Carleton University in Ottawa. He completed his Ph.D. in Mechanical Engineering in the area of arm biomechanics at the Massachusetts Institute of Technology in 1990. Dr. Russell's research in piano pedagogy is focused in the areas of limb biomechanics and piano mechanics with a particular focus on the interaction between the finger and the key. He is active in biomedical engineering research and has current projects in prosthetic limb development and cardiovascular system dynamics. Dr. Russell has also served as the Associate Dean of the Faculty of Engineering and Design. He holds an Associate Diploma and a Choir Master Diploma from the Royal Canadian College of Organists.

Shervin Shirmohammadi

Shervin Shirmohammadi is an Assistant Professor at the School of Information Technology and Engineering at the University of Ottawa, Canada. He received his M.A.Sc. and Ph.D. in 1997 and 2000, respectively, in Electrical Engineering from the University of Ottawa. His research has led to the creation of a number of multimedia systems, with numerous technology transfers, publications, and awards. His research interests are in Multimedia Communications, Collaborative Virtual presence, Tele-Haptics, and Synchronous Telecollaboration Systems. Dr. Shirmohammadi is a licensed professional engineer in Ontario, Canada (PEO P.Eng.) and a senior member of the IEEE (SMIEEE).

SOMMAIRE DES NUMÉROS 1 À 23 DE LA REVUE
CAHIERS D'INFORMATION SUR LA RECHERCHE EN
ÉDUCATION MUSICALE

Numéro 1

Septembre 1982

Sommaire

Présentation, Lucien Brochu	5
Recherche de Howard G. Tappan sur le chant choral et le rendement scolaire, présentée par Michel Aucoin	21
Recherche de Mario S. Abril sur la polymétrie et les chiffres indicateurs, présentée par Luc Bernard	25
Recherche de Charles H. Wood sur l'utilisation de stimuli en lecture à vue, présentée par Nicole Delisle	33
Recherche de Gary R. Sudano sur la théorie esthétique et l'éducation musicale, présentée par Marie Landry-Losier	43
Recherche de Henry H. Smith sur l'identification auditive et le développement auditif, présentée par Guy LeFrançois	53
Recherche de Stanley L. Schleuter sur les traits de personnalité, les aptitudes et la formation musicales, présentée par Lucie Longpré	61
Recherche de Burton R. Hoffmann sur l'utilisation de l'opéra au niveau primaire, présentée par Yves Patry	65
L'informatique, la pédagogie musicale et le laboratoire d'informatique musicale de l'Université Laval, Yolande Pélissier	73
Recherche de Janice K. G. Hodges sur les aspects pédagogiques du Mikrokosmos de Béla Bartok, présentée par Brigitte Prévost	85

Numéro 2

Septembre 1983

Sommaire

Susanne Langer et le symbolisme artistique : essai de synthèse, Michel Aucoin

Introduction	5
La théorie du symbolisme	12
Le symbolisme artistique	27
L'illusion : principe de la création artistique	47
La puissance du symbole artistique	93
Conclusion	109
Bibliographie	111
Les sources de la pensée de Susanne Langer, Jean-Claude Paquet	113
L'influence de Susanne Langer dans les programmes d'éducation musicale du Québec, Raymond Ringuette	125

Numéro 3

Mars 1984

Sommaire

Recherche de Jonathan D. Horton sur l'enseignement du solfège en sixième année, présentée par Monique Boivin	5
Recherche de Walter J. Jones sur le duo pour flûtes traversières en France au XVIII ^e siècle, présentée par Nicole Boivin	11
Recherche de Robert M. De Yarman sur le développement des habiletés rythmiques et tonales à la maternelle, présentée par Nicole Delisle	21
Recherche de Raymond Ringuette sur la formation des musiciens éducateurs à l'Université Laval, présentée par Marie Landry-Losier	35
Recherche de Lewis A. Phelps sur l'opéra et le chant choral au niveau secondaire, présentée par Odette Létourneau-Corriveau	43

La recherche en éducation musicale en France, Jean-Pierre Mialaret	53
Recherche de Edgar J. Thompson sur l'enseignement de la lecture rythmique assisté par ordinateur, présentée par Yolande Pélissier	73
Recherche de Richard W. Lucht sur l'enseignement du piano instrument fonctionnel, présentée par Céline Potvin	79
L'enseignement de la danse au primaire, Brigitte Prévost	91
Recherche de Gary A. Sigurdson sur la présentation de concerts d'orchestre à des élèves de cinquième année, présentée par Lucie Rodier	103
Recherche de James E. Croft sur l'éducation esthétique dans le cadre des cours d'orchestre d'harmonie, présentée par Réal Vautour	115

Numéro 4

Septembre 1984

Sommaire

Le programme d'éducation esthétique du CEMREL : ses principes fondamentaux, ses objectifs, son contenu et sa démarche pédagogiques par Brigitte Prévost

Numéro 5

Janvier 1985

Sommaire

Recherche de Margaret L. Stone sur les origines de la diffusion des méthodes Orff et Kodaly, présentée par Francine Déry	5
Recherche de Reta R. Phifer sur l'enseignement des formes musicales au primaire, présentée par Maryse Forand	27
Recherche de J. Jefferson Cleveland sur l'état de la musicothérapie au Massachusetts, présentée par Hélène Grondines	45
François Delalande, <i>La musique est un jeu d'enfant</i> : recension de Claude Lagacé	55
Recherche de Karl James Glenn sur le rôle de la télévision dans l'éducation	

musicale de la jeune enfance, présentée par Marie-Claude Paquette et Céline Potvin	63
Recherche d'Anne Walsh sur la vie et l'oeuvre de Claude Champagne, présentée par Michelle Paré	91
Recherche d'Earl Norwood sur la construction d'un test devant servir à mesurer l'habileté à percevoir la justesse des sons, présentée par Yolande Pélissier	101
Recherche de Dorothy S. Wilson sur la voie d'enfant, présentée par Alice Poulin	111
Recherche de James B. Conway sur les Études d'exécution transcendante de Liszt, présentée par Monique Rancourt	139
Recherche de Cecil Leeson sur les principes régissant la production du son au saxophone, présentée par Réal Vautour	143
Numéro 6	Juin 1986

Sommaire

Enquête sur l'importance que disent accorder à un ensemble d'éléments d'apprentissage en éducation musicale, au niveau primaire, les enseignants du système scolaire du Québec

Numéro 7	Janvier 1987
----------	--------------

Sommaire

François Delalande, Note sur la place d'une pédagogie des conduites musicales dans la formation musicale de l'enfant	5
Recherche de G.R. Doan sur l'influence du rôle des parents dans l'apprentissage du violon de leurs enfants, présentée par Nicole Delisle	15
Jean-Paul DesPins, <i>Le cerveau et la musique</i>	35
Recherche de W.C. Jarvis sur l'effet de la verbalisation dans la	

reconnaissance et l'exécution à l'instrument de la notation musicale, présentée par Claude Duchesneau	51
Recherche de J.C. Jorgensen sur les facteurs qui incitent les élèves à faire partie d'un orchestre d'harmonie, présentée par Victor Falardeau	65
Robert Francès, L'enseignement programmé de la musique aux adultes et aux enfants	75
Recherche de J.L. Eaton sur l'influence qu'ont certains acquis de la formation musicale sur l'habileté à lire à vue au clavier, présentée par Danielle Nicole	97
Recherche de J.N. Anderson sur l'utilisation d'enregistrements dans l'apprentissage de la clarinette, présentée par Marie-Claude Paquette	105
Parutions récentes	117
Recherche de J.H. Friesen sur la mue vocale chez l'adolescent, présentée par Alice Poulin	121
Recherche de J.M. Sorensen sur le rôle des petits ensembles dans l'apprentissage instrumental au niveau secondaire, présentée par Réal Vautour	133

RECHERCHE EN ÉDUCATION MUSICALE AU QUÉBEC

Numéro 8

Janvier 1989

Sommaire

Présentation : Raymond Ringuette

Colloque sur la recherche en éducation musicale au Québec 11

Allocutions de bienvenue

Monsieur Denis Gagnon, vice-recteur à la recherche de l'Université Laval 15

Monsieur Gilles Simard, vice-doyen à la recherche de la Faculté des arts de l'Université Laval 17

Communications

L'évaluation en musique spécialisée
Martine Lepage 19Enquête auprès des finissants de niveau secondaire afin d'établir les circonstances reliées au phénomène d'abandon des études en éducation musicale
Denise Jamison 21Guide pédagogique de l'enseignement musical au premier cycle du primaire : analyse du déroulement des activités d'apprentissage selon les critères temporo-séquentiels et visuo-spatiaux
Marie-Claude Paquette 29Description de l'évolution d'une enfant de 6 ans, présentant des troubles de communication et de comportement, dans un programme privé d'éducation musicale
Chantal Bélanger 33Analyse de la situation des arts au primaire dans la région 02
Claire Bouchard 37

La musique canadienne pour piano solo et les effets spéciaux Françoise Lafortune	49
Pédagogie de l'imaginaire Jocelyne Desjardins	63
Évaluation des objectifs du programme de piano de l'extension de l'enseignement de l'École de musique de l'Université Laval Michèle Royer	69
Neuropédagogie et éducation musicale Jean-Paul DesPins	85
Folklore et éducation musicale Urbain Blanchet	89
L'acquis musical : élaboration d'une technique utilisable chez les jeunes de six à douze ans Danielle Nicole et Marlène Dumais	93
Atelier : L'informatique dans l'enseignement de la musique Gilles Simard et Martin Prével	97
Présentation des travaux de recherche en éducation musicale réalisés à l'École de musique de l'Université Laval Raymond Ringuette	105
Table ronde « La recherche en éducation musicale au Québec : perspectives d'avenir »	113
Allocution de clôture Monsieur Lucien Poirier, directeur intérimaire de l'École de musique de l'Université Laval	125

Numéro 9

Janvier 1990

Sommaire

L'expérience selon John Dewey Alice Poulin	11
---	----

Neuropédagogie de la musique et diptyque cerveau-conscience Jean-Paul DesPins	47
La problématique entourant l'application pédagogique de l'ordinateur en musique : recension d'écrits 1965-1988 Nicole Rodrigue	65
Conception et mise à l'essai d'un système à base de connaissances d'aide à l'évaluation formative en musique. Marie-Michèle Boulet, Dorvalino de Melo, Louise Lavoie, Pierre Labbé, François Lemay	81
Chronique du livre Gilles Simard	101

Numéro 10 Janvier 1991

Sommaire

La formation musicale et le système scolaire québécois Nana Esther Pineau	9
L'enseignement du piano aux personnes âgées autonomes Francine Dufour	29
Politique culturelle concernant les écoles de musique privées au Québec Denise Jamison	47

Numéro 11 Janvier 1992

Sommaire

Do fixe ou do mobile ? : Un débat historique Louis Daignault	9
Opinion de spécialistes en musique concernant l'utilité de la technologie musicale dans le système scolaire du Québec Diane Trudel	23

Utilisation de l'analyse de contenu dans une recherche en éducation musicale André Picard	33
Description d'un système conseiller en composition musicale Marie-Michèle Boulet, Francine Dufour, Louisette Lavoie	57
Neuropédagogie et enseignement du piano : élaboration de critères d'analyse des méthodes pour enfants débutants Marc Lafontaine	71

Numéro 12

Janvier 1993

Sommaire

Appel d'article	7
Mot du directeur de la revue	9
Actes du colloque « L'enseignement de la musique assisté par ordinateur : luxe ou nécessité ? » tenu à l'École de musique de l'Université Laval le samedi 4 avril 1992	11
Mot du président du comité organisateur	13
Allocution de bienvenue François Demers, doyen de la Faculté des arts de l'Université Laval	15
Communications	
Le micro-ordinateur et la musique : où en sommes-nous ? Yves Laforest	19
Après-MIDI : Hypermédia ? Louis Daignault	25
Technologie musicale : opinion de spécialistes en musique au Québec (enquête) Diane Trudel	33
Écouter, entendre Nil Parent	35

L'enseignement d'un cours d'orchestration à l'Université de Montréal, avec l'usage de l'ordinateur afin de simuler l'orchestre Alan Belkin	45
Description des ateliers	
Logiciels en formation auditive Judith Cornellier-Sanschagrin	49
Sonographe ou jeu sonore imagé Marc-André Demers	49
Discrimination auditive des paramètres sonores Maurice Périard	49
Ordinateur, synthétiseur et pédagogie en musique Yves Lemay et Hélène Béchard	50
Pédagogie par projet dans un studio de musique audionumérique Jean-Louis Van Verren	50
Introduction à Hypercard François Belleau	50
Harmonisation et arrangement assistés par ordinateur Richard Ferland et Henri Tourigny	51
Enseignement interactif de la théorie musicale au secondaire Edmour Bélanger	51
Musicologie et ordinateur Yves Chartier	51
Table ronde « L'enseignement musical assisté par ordinateur : luxe ou nécessité ? »	53
Rôle de l'ordinateur dans la pédagogie musicale au primaire et au secondaire Denise Hébert	55
L'ordinateur change-t-il notre façon de penser et de faire la musique ? Jean-Claude Paquet	63

Éducation musicale et technologie : typologie pour la recherche Jacques Rhéaume	69
L'EMAO, luxe ou nécessité dans la formation des maîtres ? Gilles Simard	75
Allocution de clôture Lucien Poirier, directeur de l'École de musique de l'Université Laval	77

Numéro 13

Novembre 1994

Sommaire

Appel d'article

Actes du colloque sur l'écologie sonore : « De l'expressivité du silence à la pollution par la musique » tenu au pavillon La Laurentienne de l'Université Laval, le samedi 9 avril 1994

Introduction	1
Allocution d'ouverture Michel Gervais, recteur de l'Université Laval	
Communications	
Crescendo - decrescendo R. Murray Schafer	3
Silences, silence Gilles Tremblay	12
La protection juridique contre l'agression sonore Lorne Giroux	19
Le vrai langage jaillit du silence Lise Gobeil et André Renaud	53

Première table ronde « Musique d'ambiance et droits et libertés individuelles »	69
Jacques Boulay	
Pierre Dansereau	
Lorne Giroux	
Maryvonne Kendergi	
R. Murray Schafer	
Animateur : Florian Sauvageau	
L'écoute de la musique fortement amplifiée représente-t-elle une menace pour l'acuité auditive ?	
Raymond Héту et Martin Fortin	83
La pratique des loisirs bruyants : analyse d'un sondage	
Éric Huard	99
Ces instruments et ces méthodes qui agressent le développement auditif des enfants	
Jean-Paul DesPins	105
Play - le déclin d'une culture musicale	
Nil Parent	113
Hearing and context	
John Beckwith	123
Atelier « 1. Que devrait-on faire pour protéger le droit au silence dans notre environnement ? ; et 2. Qu'êtes-vous prêt à faire pour promouvoir le respect du droit au silence dans votre environnement ? »	
Animateur : Nérée Bujold	129
Seconde table ronde « Équipe de recherche interdisciplinaire sur l'écologie sonore »	133
Yves Bédard	
Nérée Bujold	
Pierre-Charles Morin	
François Parent	
Animatrice : Marie-Michèle Boulet	
Allocution de clôture	
Lucien Poirier, directeur de l'École de musique de l'Université Laval	153

Annexe

Avant-propos (extrait de la revue *Sonances*, juillet 1985)

Jacques Boulay

155

Numéro 14

Janvier 1996

Sommaire

Appel d'article

Études sur l'anxiété reliée à l'exécution musicale

André Picard et David R. Bircher

1

Étude d'une application créative musicale avec l'ordinateur

Louis Bureau

29

Numéro 15

Janvier 1997

Sommaire

Appel d'article

Étude exploratoire d'une approche coopérative en musique

Gaétan Boucher

1

L'utilisation d'un séquenceur MIDI par un spécialiste de l'enseignement de la musique au niveau primaire : étude de cas

Bryan Rancourt

29

Définitions de l'acquis musical et de l'aptitude musicale d'après deux grands courants de théories d'apprentissage : théories associationnistes et théories de champ

Paul Richard

41

The effects of vocal music on young infants : mother tongue versus foreign language

Jolan Kovacs-Mazza

55

Processus, produits et composition musicale assistée par ordinateur

Louis Daignault

65

RECHERCHE EN ÉDUCATION MUSICALE

Numéro 16

Janvier 1998

Sommaire

Appel d'article

- La notion d'appui vocal : analyse et critique de certaines ambiguïtés couramment véhiculées dans la littérature de la pédagogie vocale
Guylaine Tittlit 1
- L'intégration d'un babillard électronique dans l'enseignement universitaire
Sylvain Caron 35

Numéro 17

Janvier 1999

Sommaire

Appel d'article

- Mélodia 3 : essai et validation d'un système conseiller pour l'acquisition de trois stratégies d'analyse de la mélodie dans un contexte de dictée musicale
Judith Cornellier-Sanschagrïn 1
- L'écoute de la musique à haute intensité : un aspect de la pollution sonore
Renaud Bouillon 39
- Élaboration d'un programme de piano adapté aux aînés
Judith Cornellier-Sanschagrïn et Francine Dufour 51

Numéro 18

Janvier 2000

Sommaire

Appel d'article

Pertinence de la recherche en enseignement pour l'éducation musicale en milieu scolaire

Denis Simard et Clermont Gauthier 1

L'oreille absolue : analyse historique et psychologique

María Teresa Moreno Sala 27

Colloque annuel de l'École préparatoire de musique de l'Université Laval, tenu au pavillon Louis-Jacques-Casault le samedi 16 octobre 1999 : « Comment gérer son stress en situation de concert ou d'examen »

51

Ateliers et communications

Nature, contrôle et pédagogie du trac (première partie)

Dominique Dubé 53

Nature, contrôle et pédagogie du trac (deuxième partie) : une « pédagogie de l'appropriation » comme approche éducative de l'anxiété reliée à l'exécution musicale

André Picard 65

Comment préparer les élèves en piano pour un examen, un concours ou une audition publique ?

Francis Dubé et Michèle Bédard 81

Lampenfieber : la fièvre au corps

Ursula Stuber 87

Apprivoiser le trac : s'apprivoiser soi-même

Lise Petit et Michel Ducharme 97

Le musicien « dé-traqué »

Chantal Masson-Bourque 103

Numéro 19

Janvier 2001

Sommaire

Appel d'article

Nouveau volet international Raymond Ringuette	1
Programmation et création musicale au secondaire Louis Daignault et Frédéric Murray	3
Teaching Boys to Sing Through Their Voice Change : In Search of Practical Tools for the Classroom and Choir Rehearsal Patricia Abbott	23
Colloque annuel de l'École préparatoire de musique de l'Université Laval, tenu au pavillon Louis-Jacques-Casault le dimanche 22 octobre 2000 : « Est-ce que ça vaut encore la peine d'enseigner la musique ? »	35
Allocution de bienvenue Raymond Ringuette	37
Communications et ateliers L'enseignement de la musique... Est-ce que ça vaut la peine?... Oui, mais à condition que... François Baby	39
L'enseignement de la musique a-t-il encore sa place de nos jours ? Jean-Nicolas Boursiquot	45
Encore la peine... Quelle peine ? Chantal Masson-Bourque	49
Enjeux et défis d'une école de musique privée Danielle Nicole	53
La musique classique : une fenêtre ouverte sur le bon et le beau Martin Paquet	57

L'enseignement de la musique et quelques concepts actuels en sciences de l'éducation Jacques Rhéaume	61
Quelques bonnes raisons d'enseigner la musique : une approche philosophique Denis Simard	67
L'enseignement de la musique : plus pertinent que jamais Georgette Sinclair Desgagné	73
Compte rendu de la plénière Judith Cornellier-Sanschagrin	77

VOLET INTERNATIONAL

La formation des enseignants de la musique Françoise Regnard	81
Séminaire d'esthétique : la correspondance des arts Marie-Hélène Popelard	83
Annexe 1. Édouard Manet (1832-1883) / Paul Valéry (1871-1945) Laure Muller	99
Annexe 2. Les correspondances sensorielles chez Scriabine : <i>Prométhée et Mystère</i> Laure Muller	107

Numéro 20

Janvier 2002

Sommaire

Appel d'article

<i>Le marteau sans maître</i> de Pierre Boulez : un essai pédagogique d'écoute dirigée Martin Le Sage	1
--	---

Quelles sont les raisons invoquées pour justifier l'enseignement de la musique dans le système scolaire québécois ? Isabelle Héroux	17
--	----

VOLET INTERNATIONAL

Journées francophones de recherche en éducation musicale 2002	37
Sensibilisation d'enseignants de la musique à l'autoévaluation en cours de formation pédagogique initiale. Le « projet musical et pédagogique », champ d'initiation Françoise Regnard et Alain Lammé	39
L'éducation musicale en Amérique du Nord et en Espagne : deux cheminements contrastants María Teresa Moreno Sala	57

Numéro 21

Janvier 2003

Sommaire

Appel d'article

Nouvelle édition électronique de la revue <i>Recherche en éducation musicale</i> Raymond Ringuette	1
Élaboration de principes sur la mise en forme des messages musicaux dans les systèmes d'apprentissage multimédia interactif (SAMI) en éducation musicale Frédéric Murray	3
Les <i>Préludes pour piano</i> de Claude Debussy : une œuvre musicale qui favorise le développement musical et pianistique de tout étudiant de niveau universitaire Francis Dubé	19
JFREM 2004	41

Colloque annuel de l'École préparatoire de musique de l'Université Laval, tenu au pavillon Louis-Jacques-Casault le samedi 12 octobre 2002 : « Du baroque au contemporain : interprétation et matériel »	43
---	----

Compte rendu Jocelyne Lebel	45
--------------------------------	----

Johann Sebastian Bach ou le discours sans parole : quelques principes de base pour l'interprétation de ses œuvres au piano Vincent Brauer	47
--	----

Numéro 22 Janvier 2004

Sommaire

Appel d'article

Transposition didactique de la notion musicale de hauteur : du savoir au savoir à enseigner Pascal Beaugé	1
--	---

Susanne Langer et le symbolisme artistique : essai de synthèse Michel Aucoin	33
---	----

Numéro 23 Janvier 2005

Sommaire

Appel d'article

Figurativité et pédagogie du chant Bérengère Mauduit	1
---	---

VOLET INTERNATIONAL

Journées francophones de recherche en éducation musicale (JFREM) 2005	21
---	----

L'auto-évaluation dans la formation d'enseignants de domaines culturels : amorce d'une réflexivité dans la validation des acquis de l'expérience Evelyn Cramer et Françoise Regnard	23
--	----

Recherche scientifique et pédagogie du piano

Le jeu pianistique est une activité complexe qui requiert à la fois des habiletés motrices, auditives, visuelles et cognitives. La recherche expérimentale, dans ce domaine, est désormais grandement facilitée grâce aux nouvelles infrastructures technologiques qui permettent de mesurer avec grande précision les habiletés reliées à l'expression artistique. Les nouveaux outils dont dispose le chercheur sont multiples et variés: des logiciels puissants d'analyse statistique permettent des études de perception à grande échelle; des logiciels d'interface multimédias, des logiciels graphiques et des pianos acoustiques avec système informatique intégré codent et analysent les paramètres de l'interprétation; la caméra thermique évalue l'échauffement et les problèmes musculaires reliés à la pratique de l'instrument; la caméra numérique permet la vision informatique, la reconstitution en 3-D et la création de la réalité virtuelle; la vidéoconférence à large bande passante fait éclater les frontières physiques du studio de piano traditionnel.

En octobre 2005 avait lieu à l'Université d'Ottawa l'inauguration officielle du Laboratoire de recherche en pédagogie du piano. Cette nouvelle infrastructure a pour mandat de promouvoir la recherche multidisciplinaire en pédagogie du piano. À la suite des cérémonies d'ouverture, des chercheurs en musique, en psychologie, en neurosciences, en éducation, en génie informatique, en génie biomécanique et en génie biomédical ont donné un compte rendu de certains projets de recherche en cours au Laboratoire.

La publication des actes de ce colloque donne un aperçu de la diversité des approches méthodologiques et de la richesse des contributions rendues possibles grâce au travail d'équipes multidisciplinaires. Chacune des disciplines représentées apporte un éclairage particulier et de nouvelles méthodes pour mieux comprendre l'apprentissage du piano. La participation concertée de ces disciplines permet de dégager une représentation considérablement plus riche et globale des problématiques.