

## Conférence

# Les nouvelles technologies

## Des outils prometteurs pour la recherche en pédagogie musicale

*Gilles Comeau*

Directeur du Laboratoire de recherche en pédagogie du piano et Professeur titulaire à l'Université d'Ottawa (Canada)

Les nouvelles technologies ont pénétré presque tous les secteurs de l'éducation, y compris l'enseignement musical général et spécialisé. L'enseignant en musique dispose désormais d'outils multiples et variés : des logiciels de toutes sortes, des applis, des instruments avec interfaces MIDI. Mais les enseignants ne sont pas les seuls à bénéficier de l'apport des nouvelles technologies, car le travail des chercheurs est maintenant grandement facilité grâce aux infrastructures technologiques qui permettent de mesurer avec précision les habiletés cognitives et motrices liées à l'apprentissage musical (Comeau, 2006, 2009a). C'est grâce à des installations technologiques de pointe, qu'il nous est possible d'effectuer au *Laboratoire de recherche en pédagogie du piano*<sup>1</sup>, des recherches expérimentales qui auraient été encore impossibles il y a une ou deux décennies. Afin de démontrer comment les nouvelles technologies peuvent être des outils prometteurs pour la recherche en pédagogie musicale, nous aimerions présenter un aperçu de certaines recherches du Laboratoire. Nous avons regroupé les projets autour de cinq thèmes principaux, en lien avec le type de mesures utilisé : logiciels et caméras numériques; logiciels de réalité virtuelle;

<sup>1</sup> En 2005, l'Université d'Ottawa, au Canada, ouvrait officiellement un laboratoire de recherche unique qui a pour mandat de promouvoir la recherche multidisciplinaire en pédagogie du piano. Équipé d'installations à la fine pointe des nouvelles technologies, cette infrastructure vise une meilleure compréhension des processus d'apprentissage et des processus d'enseignement du piano. Ce laboratoire rassemble des musiciens intéressés par la recherche et des scientifiques intéressés par la musique. Des chercheurs en psychologie, en neurosciences, en éducation, en sciences cognitives, en génie informatique, en génie biomécanique, en génie biomédical, en audiologie, en sciences de la santé, mettent à contribution leurs expertises afin de contribuer à fournir diverses méthodes de recherche pouvant nous amener à mieux rendre compte des composantes intervenant dans l'apprentissage du piano. (Visitez le [www.piano.uottawa.ca](http://www.piano.uottawa.ca))

électrodes et senseurs; oculométrie; logiciels d'analyse de contenu et de modélisation.

## Logiciels et caméras numériques

La technologie permet maintenant l'utilisation de la vidéo dans le cadre de l'enseignement en studio et les possibilités pour l'affichage de l'image sont nombreuses : incrustation d'images, visionnement instantané, transformation de l'image, etc. (Comeau, Brooks et Spence, 2004). Ces techniques permettent d'analyser comme jamais auparavant, les composantes motrices du jeu pianistique dans le contexte naturel de la leçon de piano. Dans le passé, nous avons examiné l'efficacité des caméras numériques comme outil de recherche dans un contexte éducatif et cette étude a contribué au développement d'une base de données vidéo<sup>2</sup> (Emond, Barfurth, Comeau et Brooks, 2006). Celle-ci est devenue une ressource importante pour les étudiants et les chercheurs du Laboratoire. Depuis, d'autres technologies encore plus sophistiquées nous offrent de nouvelles techniques de visualisation et tout un volet de nos travaux porte depuis quelques années sur le développement de logiciels transformant les propriétés des caméras numériques en outils de recherche très performants permettant d'identifier et d'analyser les patrons moteurs du jeu pianistique d'un interprète.

## Technologies de vision

Des systèmes de captation du mouvement basés sur des marqueurs optiques ou magnétiques sont souvent utilisés pour la recherche impliquant l'évaluation et la surveillance de l'interaction de mouvements physiques complexes nécessaires au jeu au piano. Ces systèmes encombrants entraînent des contraintes sur les mouvements car ils nécessitent des cibles réfléchissantes spécifiques ou des capteurs câblés devant être installés sur l'interprète. Ces configurations envahissantes ne sont pas toujours adéquates pour surveiller la performance d'un pianiste. Nous avons donc entrepris de développer le prototype d'un logiciel de visualisation purement passif (ne nécessitant aucun contact physique avec le pianiste) permettant l'analyse des mouvements impliqués dans le jeu au piano (Bériault, Côté, Payeur et Comeau, 2007; Payeur, Côté et Comeau, 2006). Avec des techniques clas-

<sup>2</sup> Cette base de données compte plus de 700 vidéo-clips illustrant les stratégies d'enseignement, le mouvement technique, l'apprentissage de la lecture, l'enseignement du répertoire, et autres. Des enregistrements complets de leçons ont été passés en revue et des clips illustrant des aspects pédagogiques clés ont été sélectionnés puis édités. Les techniciens du Laboratoire ont mis au point un moteur de recherche permettant de naviguer facilement à travers tous les clips. Les vidéos sont disponibles, pour des fins de recherche, au Centre de ressources du Laboratoire.

siques de vision par ordinateur, de traitement d'image et de reconnaissance de modèle, ce système a été construit pour estimer les déplacements de la partie supérieure du corps, des bras et des mains d'un interprète au piano (Bériault, Payeur et Comeau, 2007; Côté, Payeur et Comeau, 2006, 2007). Cette approche est très prometteuse et nous espérons pouvoir éventuellement jumeler les mesures des caractéristiques photométriques des bras et des mains du pianiste avec les caractéristiques musicales de l'interprétation. Le flux visuel résultant de l'extraction des mouvements du pianiste pourrait être synchronisé et combiné avec des informations tactiles et musicales produites par un piano acoustique spécialement équipé de capteurs infrarouges qui mesurent le mouvement des marteaux et convertissent ces informations en données MIDI (Musical Instrument Digital Interface). L'objectif de ce projet serait d'obtenir une représentation calibrée de la phrase musicale et des déplacements physiques du pianiste afin de fournir une évaluation de la relation entre les mouvements et la qualité de la performance.

### Logiciels d'analyse du mouvement

Les approches somatiques (Technique Alexander, Méthode Feldenkrais, Eutonie, Body Mapping) visent à améliorer les mouvements du corps de manière à promouvoir le bien-être musculo-squelettique (Alcantara, 1997; Conable, 1995; Mark, 2003). Le consensus veut que ces thérapies soient bénéfiques pour les musiciens dont les mauvaises postures et les problèmes techniques ont pu causer des ennuis de santé (Wong et Comeau, 2014). Toutefois, il est surprenant de voir que, compte-tenu de l'engouement suscité par la formation somatique et la popularité de ces approches dans les milieux artistiques, les chercheurs se sont peu préoccupés de trouver des preuves scientifiques appuyant le bienfait de ces approches. Le nombre d'études sérieuses qui cherchent à évaluer les avantages thérapeutiques de la formation somatique pour les musiciens est petit et, parmi les études qui ont été menées, la plupart ne sont pas de bonne qualité méthodologique (Beacon, 2014). Il semble que les chercheurs souhaitant évaluer la portée de la thérapie somatique sont confrontés à une pénurie d'outils de mesures fiables. Nous avons donc entrepris un projet pilote qui a pour but d'identifier les outils quantitatifs les plus aptes à évaluer les correctifs somatiques appropriés. Cette recherche en cours s'intéresse à savoir si le logiciel commercial Dartfish et le système Kinects pourraient contribuer à des mesures adéquates et valables lors de l'exécution pianistique suite à une séance de formation somatique.

### Imagerie thermique

Les effets d'un échauffement physique et la nature inflammatoire des troubles liés au jeu pianistique contribuent tous

deux à des variations de température au niveau des muscles et, par extension, de la surface de la peau. Ces subtils changements de température peuvent être détectés à l'aide de la thermographie infrarouge, une technologie vidéo qui permet de mesurer la température des mains, des bras, des épaules, du cou et du visage d'un pianiste en train de jouer. Il est donc possible de déduire les températures des muscles et des autres tissus neuromusculaires ce qui nous donne une appréciation des points de tension musculaire et d'inflammation. Au cours d'une première recherche (Herry, Frize, Goubran et Comeau, 2005, 2006), nous avons pu démontrer qu'il est possible d'étudier, à l'aide de l'imagerie thermique, le comportement des muscles mis en jeu lors d'une séance de travail au piano. Nous avons aussi pu observer que la température de la surface des muscles du bras varie de façon significative d'un interprète à l'autre alors que des tendances très différentes émergent entre les diverses courbes de température. Au cours d'une deuxième étude (Mohamed, Frize et Comeau, 2011), nous avons examiné les différences de température entre les mains et les bras de pianistes ayant de la douleur et des pianistes sans douleur. Nous avons constaté qu'il existe une différence significative de la température des mains entre les deux types de pianistes. L'imagerie thermique apparaît donc comme une approche prometteuse qui pourrait éventuellement conduire à la détection précoce et à un diagnostic plus facile de traumatismes liés au stress physique chez les musiciens.



### Logiciels de réalité virtuelle

Au cours des dernières années, nous avons assisté à des progrès significatifs dans la technologie de la vidéo 3D et de la réalité virtuelle. Il est désormais possible de créer des applications qui sont plus réalistes que jamais et de fournir à l'utilisateur des outils utiles dans des contextes d'apprentissage situationnels et authentiques. Bien que la technologie ait considérablement progressé et qu'elle puisse fournir une riche expérience à l'utilisateur, il y a encore de nombreuses limitations qui devront être solutionnées avant que la vidéo 3D ne devienne un outil de recherche utile en pédagogie du piano. C'était l'objectif de quelques-uns de nos projets de recherche, soit de proposer une première incursion dans l'utilisation de la réalité virtuelle pour l'étude de la technique au piano.

### Visualisation tridimensionnelle

Une première étude (Balasubramaniam, Russell et Comeau, 2007) a porté sur la visualisation tridimensionnelle du jeu

pianistique. À l'aide de huit caméras numériques branchées sur le logiciel VICON, un système spécialisé de captation motrice, il a été possible d'obtenir une image en trois dimensions d'une exécution au piano. Ce système capte les mouvements corporels avec une très grande précision ce qui permet d'examiner les mouvements des doigts, des mains et des bras des interprètes. Les contraintes spatio-temporelles et musicales dans la coordination motrice sont étudiées en détails et la force du mouvement et la précision rythmique sont analysées. On observe alors le lien entre les trajectoires du mouvement des doigts et les erreurs de rythme commises par l'interprète afin de déterminer si ces erreurs sont liées au système moteur, plus spécifiquement aux mouvements responsables du contact des doigts sur le clavier.

### Reconstruction virtuelle

Une autre recherche (Mora, Lee, Comeau, Shirmohammadi et El Saddik, 2006) a permis de recréer une représentation graphique du mouvement d'un interprète expert. Ce projet avait pour objectif de développer une application innovatrice de techniques utilisées pour la visualisation 3D afin de pouvoir mieux analyser la posture et l'alignement des pianistes. D'abord le système de caméras infrarouges capte la position d'un pianiste à l'aide de 80 marqueurs réfléchissants positionnés le long du corps de l'interprète. Le squelette est reconstruit avec un convertisseur anatomique, un logiciel spécialisé qui prend note de la position des marqueurs et effectue les estimations nécessaires pour positionner les articulations du squelette. Cette reconstruction 3D permet l'analyse des mouvements de l'interprète sous n'importe quel angle, puisqu'une pleine rotation du modèle est possible. Ce modèle peut ensuite être comparé à celui d'autres pianistes experts afin d'analyser s'il y a des postures ou mouvements communs ou encore pour savoir comment chacun négocie l'alignement et la gestuelle pendant l'exécution. De plus, dans un autre projet (Mora, Lee et Comeau, 2007), nous avons démontré comment ce modèle peut être ajusté afin de s'adapter aux mesures anthropométriques de différents élèves. Ainsi, des enregistrements vidéo en format 2D sont réalisés dans le studio de piano, puis le modèle de l'expert est superposé sur cet enregistrement permettant de comparer la posture et l'alignement d'un musicien novice avec un musicien expert. Cette technique permet entre autres de mesurer si la posture de l'élève s'améliore avec le temps. Avec cette technologie, le chercheur peut mieux voir et mieux comprendre les positions et les mouvements que les élèves adoptent au cours de leur apprentissage du piano.



## Électrodes et senseurs

Depuis déjà longtemps, les électrodes et les senseurs sont utilisés pour étudier le fonctionnement du corps humain, mais il est beaucoup plus récent d'utiliser ces outils pour la recherche en pédagogie musicale. Nous avons voulu explorer comment nous pouvions mettre à profit certaines de ces technologies, afin d'apporter de nouveaux éclairages sur des problèmes en lien avec l'interprétation instrumentale. Nous avons utilisé l'électromyographie pour mesurer l'activité des muscles, des articulations et du système nerveux lors de la pratique au piano. Puis, nous avons eu recours à l'électroencéphalogramme pour mesurer la maturation du système auditif central. Plus spécifiquement, nous cherchons à connaître les effets de cours de piano sur le système auditif central chez les enfants ayant une perte auditive sévère. Enfin, à l'aide d'équipement respiratoire sophistiqué, nous avons tenté d'observer les habitudes respiratoires des pianistes.

### L'électromyographie

Tout pianiste vise le jeu fluide découlant d'une bonne maîtrise technique. Les avis pour atteindre ce but sont toutefois partagés parmi les écoles de pensée en pédagogie du piano et ce, surtout en ce qui a trait à la gestion de la tension musculaire liée à la performance (Wheatley-Brown, Comeau et Russell, sous presse). Pour certains, la tension est perçue comme une entrave au mouvement, soit un état qu'il faut bannir absolument (Mark, 2003; Taubman, Bloomfield, Golandsky, Schnitzer, Urvater et Yaguspsky, 2001). Pour d'autres, il s'agit d'une part intégrale de la maîtrise exercée par le pianiste, soit une condition essentielle à l'exécution, un atout qu'il faut savoir maîtriser et mettre à contribution (Fraser, 2010, 2003). Ces avis contradictoires découlent d'une méconnaissance des principes anatomiques et biomécaniques en présence lors du contrôle musculaire nécessaire au jeu fluide (Comeau, 2008; Russell, Vant, Ray, Brook et Comeau, 2007). En pliant ses doigts, un musicien peut se concentrer sur l'utilisation des muscles extrinsèques, gros et puissants, de l'avant-bras ou sur les petits muscles intrinsèques de la paume. Des expériences initiales (Vant, 2007) basées sur des mesures d'électromyographie ont servi à montrer certains effets de ce choix sur la raideur du poignet pendant l'exécution d'une pièce musicale. Toujours à l'aide de l'électromyographie, une autre étude (Andison, 2011) a entrepris d'étudier la relaxation, la co-contraction et les problèmes pluri articulaires en soumettant le mouvement de pianistes expérimentés à des forces faibles mais de courte durée appliquées directement sur les poignets lors du jeu au piano afin d'en mesurer les réactions. Même si de nombreux pédagogues présentent la co-contraction comme potentiellement préjudiciable et

pouvant conduire à des blessures (Wheatley-Brown, 2011) nos résultats de recherche démontrent que la présence de la co-contraction est fondamentale au jeu pianistique. En effet, la co-contraction est nécessaire au maintien de la posture correcte des bras. L'enseignement du piano ne devrait donc pas tant chercher à éliminer la co-contraction, mais à l'utiliser de façon judicieuse.

### L'Électroencéphalogramme

Ce projet (Martel-Lamothe, Koravand et Comeau, 2014), qui a démarré il y a quelques mois, a pour but d'explorer les changements causés par les cours de piano sur le type d'onde cérébrales appelées « potentiels évoqués auditifs » chez les enfants munis d'implants cochléaires. L'activité neuronale est un processus qui produit une décharge électrique. Lorsque plusieurs neurones sont actifs en même temps, leur charge accumulée est suffisante pour être enregistrée par des électrodes. Ainsi, grâce à l'électroencéphalogramme (EEG), des électrodes placées sur le crâne, peuvent mesurer les signaux électriques du cerveau. Pour cet enregistrement neurophysiologique cortical, l'enfant entend une série de sons simples (sons purs de 1kHz et 2kHz) ainsi qu'une série de répétition de sons complexes (syllabes /da/ et /ba/). Nous examinons ensuite comment les réponses du cerveau changent selon les différents sons présentés. Nous voulons ensuite observer comment des sessions intenses de cours de musique pourraient affecter le développement du système auditif central et ainsi affecter les réponses corticales aux stimuli sonores. Les résultats de cette recherche pourraient nous aider à comprendre d'avantage le fonctionnement du système auditif central chez les enfants et l'effet de cours de piano sur le développement cortical des zones auditives de jeunes enfants avec perte auditive sévère.

### La respiration

Au cours des dernières décennies, les chercheurs se sont penchés sur le mode de respiration de diverses catégories d'instrumentistes, mais on dispose de peu de données sur les pianistes. À l'aide d'équipement respiratoire sophistiqué et d'un cadre méthodologique novateur qui permettait de mesurer la respiration sans entraver le jeu instrumental, ce projet (Nassrallah et Comeau, 2009, 2010a; Nassrallah, Comeau, Russel et Cossette, 2013) avait pour but d'étudier dans quelle mesure différents éléments musicaux tels que le tempo, la mesure, le rythme, les notes accentuées, la complexité mélodique et le phrasé exerçaient une influence sur la respiration. Une analyse précise des courbes de respirations et des marqueurs de mouvement obtenus à l'aide de l'enregistrement de données MIDI, a révélé peu de liens entre le mode respiratoire et le jeu des pianistes. En fait, sauf quelques cas excep-

tionnels pour lesquels les marqueurs de mouvement coïncidaient avec la fin de l'inspiration et de l'expiration, on n'a pu observer aucune relation entre la respiration et le mouvement des doigts, ce qui tend à confirmer le peu de coordination, chez les pianistes, entre le rythme respiratoire et l'interprétation au piano. Ces conclusions préliminaires exposent une différence importante entre les interprètes d'instruments à vent qui doivent 'respirer avec la phrase musicale' et les pianistes, qui semblent ne pas coordonner les deux.



### L'oculométrie

Dans la rétine de l'œil, seule la fovéa (partie centrale de la rétine) possède le degré de résolution adéquat pour reconnaître des symboles comme les lettres ou les notes de musique. Lors de la lecture, l'étroitesse de la fovéa oblige à constamment déplacer le regard (saccades et fixations) quatre ou cinq fois à la seconde. Grâce à des outils de haute précision, nous sommes maintenant en mesure de capter et d'étudier les mouvements oculaires lors de la lecture de partitions musicales. Nous pouvons ainsi mieux étudier les mécanismes qui sous-tendent les processus cognitifs lors de la lecture musicale. Trois projets importants ont été réalisés au Laboratoire en utilisant la mesure des mouvements oculaires.

### Les mouvements oculaires observables

Les manuels d'enseignement du piano sont assurément l'outil d'apprentissage de base. La plupart d'entre eux contiennent de nombreuses illustrations colorées : depuis les simples croquis en noir et blanc du début du 20<sup>e</sup> siècle, des illustrations au graphisme plus moderne et aux couleurs de haute qualité apparaissent maintenant presque à chaque page. Il ne fait aucun doute que ces images sont très attrayantes et séduisantes pour les jeunes élèves. Cependant, nous ne connaissons pas l'impact que ces illustrations décoratives pourraient avoir sur la lecture musicale. À l'aide d'un système mesurant les mouvements oculaires, ce projet pilote (Comeau, sous presse; Elias, Comeau et Liu, 2013 ; Liu et Comeau, 2010a, 2012a) avait pour but de capter le nombre et la durée des fixations du regard sur la zone illustrée ainsi que sur la partition. Nous voulions savoir si la présence d'illustrations colorées attirait l'attention de l'apprenant lors de la prévisualisation d'une partition ou lors de la lecture d'un morceau pour la première fois. Notre analyse des données indique que les illustrations attirent les yeux des élèves loin de la partition musicale, en particulier pendant la période d'essai. Les résultats indiquent que jusqu'à 20 % des fixations peuvent parfois porter sur la

zone illustrée. Cela démontre que, dans certains cas, les illustrations peuvent constituer une distraction importante. L'impact d'illustrations colorées fait présentement l'objet d'un nouveau projet qui cherche à savoir si celles-ci nuisent à la qualité de l'exécution lorsque de jeunes élèves apprennent à jouer de courtes pièces musicales.

### Champ visuel effectif

Quelques études avaient déjà examiné le champ visuel effectif, c'est-à-dire le champ autour du point de fixation des yeux, de musiciens faisant la lecture d'une partition. Poursuivant dans la même ligne, nous avons développé un logiciel spécialisé qui fournit une fenêtre en mouvement faisant en sorte que le lecteur ne voit que la section de la partition où se pose le regard; le lecteur doit bouger les yeux pour voir les notes qui suivent. Dans notre étude (Liu et Comeau, 2009, 2010b, 2012b), nous avons pu confirmer ce que d'autres avaient vu avant nous, à savoir que les compétences en lecture musicale du participant ne changent pas ce qui est capté par le champ visuel : nonobstant leur degré de compétence, les lecteurs à vue bénéficient d'un champ visuel similaire. Sans surprise, nous avons pu observer que lorsque les extraits deviennent plus difficiles, les participants effectuent plus de fixations et ont des saccades de plus courtes durées. Par contre, nos analyses ont aussi pu démontrer l'impact de la complexité de la notation musicale sur le champ visuel effectif lors de la lecture à vue : ainsi la complexité de la notation (soit la quantité d'information visuelle dans une section donnée) avait, elle, une incidence nette sur les mouvements oculaires. Avec des pièces ayant un niveau de difficulté semblable, le nombre de saccades est plus élevé avec l'écriture musicale moins complexe et ce nombre diminue à mesure qu'augmente la complexité de la notation. Il est probable que la complexité de la notation fait en sorte qu'à chaque fixation, la fovéa peut capter plus d'informations et qu'elle a besoin de moins de déplacements pour saisir l'information apparaissant de façon plus rapprochée sur la partition. On a aussi observé une augmentation significative dans la qualité de la performance lorsque la notation des extraits devenait plus complexe. Il est possible que les notes plus largement espacées des pièces avec notation plus simple dépassent les limites du champ visuel effectif et occasionnent une moins bonne performance alors que la notation plus serrée des partitions avec notation complexe favorise une meilleure saisie et contribue à une meilleure performance.

### Mouvements oculaires et incongruités syntaxiques

L'hypothèse première de ce projet portait sur le lien probable entre la façon dont le cerveau traite la syntaxe langagière et musicale. Il est probable que les violations de la syntaxe dans les deux domaines peuvent avoir des effets similaires. La

présente étude (Ahken et Comeau, 2009; Ahken, Comeau, Hébert et Balasubramaniam, 2012) a examiné les effets d'incongruités syntaxiques sur les mouvements oculaires et sur le temps de lecture dans les domaines de la musique et de la langue. Les mouvements oculaires ont été mesurés pendant 1) la lecture à voix haute de phrases dont la syntaxe était soit correcte ou délibérément incongrue (violation de la structure grammaticale prévue) et, 2) l'interprétation de séquences musicales qui étaient, elles aussi, correctes ou incongrues (la dernière mesure de la séquence incongrue avait un accord non tonique ou une note non tonique). Un logiciel spécialisé nous permettait ensuite d'analyser la durée des fixations oculaires. Les incohérences syntaxiques dans les deux domaines ont été associées à une augmentation de la quantité et de la durée des fixations dans la région ciblée. Les résultats sont cohérents avec les évidences croissantes d'un réseau partagé de structures neuronales pour le traitement syntaxique (musique ou langue), tout en n'excluant pas la possibilité de réseaux indépendants pour chaque domaine.



### Logiciels d'analyse de contenu et de modélisation

Le manuel d'enseignement du piano joue, on le sait, un rôle fondamental dans l'apprentissage de la lecture de la musique. L'inventaire des signes musicaux et l'analyse des concepts de lecture repris par les manuels d'enseignement les plus courants nous paraissent être une entreprise indispensable pour une bonne compréhension du matériel d'enseignement. Les projets décrits plus bas, rendus possibles grâce au développement de logiciels spécialisés, sont des préalables à toute étude portant sur le matériel éducatif d'acquisition de la lecture musicale.

### Les manuels d'enseignement du piano

Chaque méthode de piano décide de l'ordre de présentation des symboles de notation musicale, du nombre de répétitions accordé à chaque symbole et de l'importance ou non de favoriser plusieurs activités de renforcement. Ainsi, certains auteurs introduisent un symbole à la fois alors que d'autres préfèrent présenter 2 ou 3 symboles en même temps; certains préfèrent inclure un nouveau concept de lecture toutes les 4 ou 5 pages alors que d'autres optent pour un nouveau concept par page. Certaines méthodes présentent un symbole de manière répétée pour appuyer l'apprentissage alors que d'autres méthodes vont le présenter quelques fois seulement. Afin de permettre un examen approfondi des manuels d'en-

seignement, le Laboratoire (Comeau, 2009b; Nassrallah et Comeau, 2010b) a conçu un logiciel permettant, dans un premier temps, de numériser et de convertir en un fichier MIDI toutes les pièces musicales relevées dans différentes séries de manuels d'enseignement du piano puis, dans un deuxième temps, de répertorier de manière automatique, l'ensemble des symboles de notation musicale, d'analyser l'ordre d'introduction des symboles, la fréquence de présentation, l'importance du renforcement. Un relevé manuel des silences, des nuances et des articulations est venu compléter l'analyse. Les résultats de l'analyse démontrent que certaines méthodes présentent tout au plus une centaine de symboles et concepts de lecture musicale alors que d'autres en proposent plus de 250. Ainsi, ce logiciel a permis de faire un inventaire exhaustif des symboles de notation musicale de plus d'une trentaine de manuels nord-américains et européens communément utilisés par les enseignants en piano. Dans une deuxième analyse, nous entendons maintenant extraire les composantes cognitives et psychomotrices de la maîtrise du code musical telles qu'elles apparaissent dans les manuels. On sera alors en mesure de mieux comprendre le mode d'acquisition des symboles musicaux proposé par les différentes méthodes.

### Modélisation cognitive

Dans les manuels d'enseignement du piano, différentes méthodes d'introduction à la lecture sont proposées, les plus connues étant la méthode du Do central et l'approche par intervalles. Le but de ce projet de recherche (Emond et Comeau, 2010, 2012) est d'étudier l'impact possible de ces deux approches sur l'acquisition de compétences initiales de lecture. En utilisant la modélisation cognitive (ACT-R), nous espérons observer, par la simulation informatique, les tâches de résolution de problèmes et de prise de décision impliquées dans le décodage de partitions musicales simples. Une première publication (Emond et Comeau, 2013) a présenté une description du modèle cognitif que nous sommes à développer et a exposé les analyses des premiers résultats obtenus avec la simulation du modèle opérant avec chacune des deux méthodes d'enseignement. Les résultats préliminaires montrent que la méthode par intervalles nécessite un plus grand nombre de connaissances déclaratives en rapport avec la notation et qu'elle requiert plus de planification gestuelle que la méthode du Do central. Nous continuons de développer le modèle afin d'en apprendre davantage sur les implications de chacune des méthodes, à mesure que de nouvelles habiletés en lecture sont requises.

### Technologies d'interface multimédia

Alors que la plupart des logiciels que nous avons développés ou adaptés à nos besoins portent sur la visualisation du mou-

vement corporel, le logiciel MIDIator (Shirmohammadi, Comeau et Khanafar, 2006), créé en 2005, est un logiciel d'interface multimédia. Ce logiciel permet de représenter graphiquement des données de la performance musicale. Pour ce faire, nous avons recours au système MIDI (Musical Instrument Digital Interface), un protocole de communication qui permet aux instruments pourvus d'une composante informatique, dont le *Disklavier* de Yamaha et les claviers électroniques, de capter une performance et d'échanger des données avec l'ordinateur. Les données MIDI englobent tous les renseignements ayant trait aux hauteurs, au tempo, ainsi qu'à l'intensité, à la durée et à l'articulation de chaque note. Ces données sont ensuite traduites sous forme de graphiques servant de support visuel à l'analyse de chaque variable sonore attestant du rendement de la performance. Les chercheurs utilisent le logiciel MIDIator pour identifier les types d'erreurs de performance et comptabiliser leur occurrence et leur fréquence. Ce logiciel permet donc de rendre compte de l'évolution de l'habileté d'exécution d'un élève. Il permet également de comparer l'interprétation personnelle d'un pianiste à une performance neutre, un mode de jeu dépourvu de toute expression artistique, pour en établir les modalités d'expression artistique. Ainsi, les représentations graphiques nous permettent d'évaluer, de façon plus objective, les écarts de temps et d'intensités sonores dans les exécutions pianistiques de musiciens novices et experts.



## Conclusion

Notre compréhension du processus d'apprentissage d'un instrument de musique demeure rudimentaire et fragmentaire compte tenu de la complexité de l'activité musicale. Mais même si la pédagogie instrumentale souffre toujours de l'absence de recherches et de données scientifiques, il est évident que le développement de nouvelles technologies et le partenariat avec des chercheurs provenant de différentes disciplines (en psychologie, en neurosciences, en éducation, en sciences cognitives, en génie informatique, en génie biomécanique, en génie biomédical, en audiologie, en sciences de la santé,) contribuent à un nombre croissant de recherches expérimentales. Nous avons tenté de démontrer, à partir des recherches de notre Laboratoire, comment les technologies outillent le chercheur de nouveaux instruments de mesure et offrent diverses applications pour la recherche en pédagogie musicale. Ces ressources technologiques permettent, entre autres, de représenter graphiquement les caractéristiques acoustiques de la performance musicale; de rendre

possible le calcul et l'évaluation des gestes pianistiques par des techniques de visualisation numérisée; de reproduire une construction en 3D les mouvements d'un interprète; d'observer les mouvements oculaires d'un pianiste; d'analyser à l'aide d'électrodes externes, la maturation du système auditif central; d'observer les habitudes respiratoires des pianistes à l'aide de ceintures avec senseurs intégrés; d'étudier le contenu du matériel éducatif et d'analyser les approches d'enseignement de la lecture musicale à l'aide de logiciels spécialisés; de mesurer la température des bras et des mains grâce à l'utilisation d'un système de caméra thermique infrarouge. Comme toute entreprise éducative, la pédagogie instrumentale ne peut que bénéficier de l'apport de données objectives et généralisables pour guider sa pratique et orienter ses interventions dans une situation pédagogique. ■

## Bibliographie

AHKEN, S., COMEAU, G. (2009). *L'intégration de la syntaxe linguistique et musicale dans le cerveau : une étude du comportement observable des yeux*. Journées francophones de recherche en éducation musicale, Ottawa, Canada.

AHKEN, S., COMEAU, G., HÉBERT, S., BALASUBRAMANIAM, R. (2012). *Observable eye-movement patterns during the processing of linguistic and musical syntactic incongruities*. *Psychomusicology: Music, Mind & Brain*, 22 (1), 18-25.

ANDISON, C. (2011). *EMG-based assessment of active muscle stiffness and co-contraction in muscles with primary and secondary actions at the wrist during piano playing*. (Thèse de maîtrise). Disponible avec Proquest Dissertations and Theses database. (AATMR81672).

BALASUBRAMANIAM, R., RUSSELL, D., COMEAU, G. (2007). *Timing mechanisms in piano performance*. Canadian University Music Society, Montreal, Canada.

BEACON, J. (2014). *Investigating visual methods for assessing and measuring changes in the playing postures of pianists in response to somatic training*. Document non publié.

BÉRIAULT, S., CÔTÉ, M., PAYEUR, P., COMEAU, G. (2007). *Multi-camera computer vision for human gesture monitoring and prevention of injuries*. Actes de colloque OCRI Research Event, Université d'Ottawa, Ottawa, Canada.

BÉRIAULT, S., PAYEUR, P., COMEAU, G. (2007). *Flexible multi-camera network calibration for human gesture monitoring*. Actes du colloque IEEE International Workshop on Robotics and Sensors Environments, Ottawa, Canada, 12-13.

COMEAU, G. (sous presse). *Colourful illustrations in piano method books: A pilot project investigating eye focus*. Music Teachers National Association e-Journal.

COMEAU, G., BROOKS, M. & SPENCE, J. (2004). *Video and broadband videoconference in professional development*. Actes de colloque International Consortium for Educational Development (ICED), Ottawa, Canada.

COMEAU, G. (2006). *Actes de colloque tenu lors de l'inauguration du Laboratoire de recherche en pédagogie du piano: le 14 octobre 2005*. Recherche en éducation musicale, 24, Québec: Université Laval.

COMEAU, G. (2008). *«Relaxation» and «Stiffness» in Piano Playing: Educational Metaphors or Scientific Reality*, Université d'Ottawa, Ottawa, Canada.

COMEAU, G. (2009A). *Scientific experimentation and new technology: What do they have to do with piano pedagogy?* Actes du colloque World Piano Conference, Isidor Bajic Music School, Novi Sad, Serbia.

COMEAU, G. (2009B). *Piano method books and the introduction of musical notation: Surveying the field and using eye-tracking technology to examine some aspects of*

- presentation. Canadian University Music Society, Ottawa, Canada.
- CONABLE, B. (1995). *How to Learn the Alexander Technique: A manual for students*. Chicago, USA : GIA Publications Inc.
- CÔTÉ, M., PAYEUR, P., COMEAU, G. (2006). *Comparative study of adaptive image segmentation techniques for gesture analysis in unconstrained environments*. Actes du colloque IEEE International Workshop on Imaging Systems and Techniques, Minori, Italy, 28-33.
- CÔTÉ, M., PAYEUR, P., COMEAU, G. (2007). *Video segmentation for markerless motion capture in unconstrained environments*. Actes du colloque 3<sup>rd</sup> International Symposium on Visual Computing (ISVC), Lake Tahoe, 791-800.
- DE ALCANTARA, P. (1997). *Indirect procedures: A musician's guide to the Alexander technique*. USA: Oxford University Press.
- ELIAS, C., COMEAU, G., LIU, Y. (2013, JULY). *Effect of pictures in piano method books*. Affiche présentée à Science without Borders Symposium, Université d'Ottawa, Ottawa, Canada.
- EMOND, B., BARFURTH, M., COMEAU, G., BROOKS, M. (2006). *Technologies d'annotation vidéo et leurs applications à la pédagogie du piano*. Recherche en éducation musicale, 24, 49-60.
- EMOND, B., COMEAU, G. (2010). *Cognitive modeling of early music-reading skill acquisition for piano, Music Reading: Its Difficulties in the Context of Music Learning*. Actes du colloque 2010 International Conference on Multidisciplinary Research in Music Pedagogy, Ottawa, Canada.
- EMOND, B., COMEAU, G. (2012). *Cognitive modelling of early music reading skill acquisition for piano*. Actes du colloque 11th International Conference on Cognitive Modeling 2012, Berlin : Universitaetsverlag der TU Berlin.
- EMOND, B., COMEAU, G. (2013). *Cognitive modelling of early music reading skill acquisition for piano: A comparison of the Middle-C and intervallic methods*. Cognitive Systems Research, 24, 26-34.
- FRASER, A. (2003). *The craft of piano playing: A new approach to piano technique*. Lanham, MY : Scarecrow Press, Inc.
- FRASER, A. (2010). *Honing the pianistic self-image*. Novi Sad : Maple Grove Music Productions.
- HERRY, C., FRIZE, M., GOUBRAN, R.A., COMEAU, G. (2005). *Evolution of the surface temperature of pianists' arm muscles using infrared thermography*. Actes du colloque 27th annual international conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Shanghai, China, 1687-1690.
- HERRY, C. L., FRIZE, M., GOUBRAN, R. A., COMEAU, G. (2006). *Étude thermographique de pianistes lors d'une séance de travail : évolution de la température superficielle des muscles et premières interprétations*. Recherche en éducation musicale, 24, 89-104.
- LIU, Y., COMEAU, G. (2009). *Le champ de vision perceptuel dans la lecture musicale à première vue: les effets de la complexité de la notation*. Journées francophones de recherche en éducation musicale, Ottawa, Canada.
- LIU, Y., COMEAU, G. (2010A). *Young Piano Students' Sight Reading: The Effect of Colorful Illustrations in Piano Method Books*. Actes du colloque ISME 29th World Conference, Beijing, China.
- LIU, Y., COMEAU, G. (2010B). *Perceptual Span in Music Sight Reading: Effects of Notational Complexity*. Actes du colloque ISME 29th World Conference, Beijing, China.
- LIU, Y., COMEAU, G. (2012A). *The use of eye-tracking technology to measure young piano students' eye movement during sight reading pieces from method books*. Actes de colloque Québec Conference 2012, Québec, Canada.
- LIU, Y., COMEAU, G. (2012B). *The effect of notational complexity on advanced piano students' perceptual span and performance quality during sight reading*. Actes du colloque Québec Conference 2012, Québec, Canada.
- MARK, T. (2003). *What every pianist needs to know about the body*. Chicago, IL : GIA Publications Inc.
- MARTEL-LAMOTHE, P., KORAVAND, A. & COMEAU, G. (2014, APRIL). *Comparaison de la réponse corticale d'enfants avec implants cochléaires et d'enfants normo-entendants suite à une stimulation auditive*. Affiche présentée à Biomedical and Biopharmaceutical Science Programs, Université d'Ottawa, Ottawa, Canada.
- MOHAMED, S., FRIZE, M., COMEAU, G. (2011). *Assessment of piano-related injuries using infrared imaging*. Actes de colloque 33rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Boston, 4901-4904.
- MORA, J., LEE, W.S., COMEAU, G., SHIRMOHAMMADI, S., EL SADDIK, A. (2006). *Assisted piano pedagogy through 3D visualization of piano playing*. Actes du colloque IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environment and their Applications, Ottawa, Canada, 157-160.
- MORA, J., LEE, W.S., COMEAU, G. (2007). *3D visual feedback in learning of piano posture*. Actes de colloque Edutainment 2007.
- NASSRALLAH, F., COMEAU, G. (2009). *Breathing patterns of novice, advanced and professional pianists while executing four performing tasks*. Canadian University Music Society, Ottawa, Canada.
- NASSRALLAH, F., COMEAU, G. (2010A). *Breathing pattern changes observed while pianists performed technical exercises and repertoire pieces*. Actes du colloque International Conference on Multidisciplinary Research in Music Pedagogy, Ottawa, Canada.



NASSRALLAH, F.,  
 COMEAU, G. (2010B).  
*Music reading Skills of Young Piano Students: Study of the Musical Symbol in Piano Method Books*. Actes du colloque 2010 International Conference on Multidisciplinary Research in Music Pedagogy, Ottawa, Canada.

NASSRALLAH, F.,  
 COMEAU, G., RUSSEL, D.,  
 COSSETTE, I. (2013).  
*Coordination between breathing and difference movement markers during pianists' performance tasks*. *Perceptual & Motor Skills*, 116 (1), 1-20.

PAYEUR, P., CÔTÉ, M.,  
 COMEAU, G. (2006).  
 Les technologies de l'imagerie au service de l'analyse du mouvement en pédagogie du piano. *Recherche en éducation musicale*, 24, 61-87.

RUSSELL, D., VANT, C.,  
 RAY, J., BROOK, J.,  
 COMEAU, G. (2007).  
*Biomechanical implications inherent in descriptions of piano technique*. Canadian University Music Society, Montreal, Canada.

SHIRMOHAMMADI, S.,  
 COMEAU, G., KHANAFAR, A.  
 (2006). *MIDlator: A tool for analysis of musical performance*. *Recherche en éducation musicale*, 24, 35-48.

TAUBMAN, D., BLOOMFIELD,  
 J., GOLANDSKY, E.,  
 SCHNITZER, S., URVATER, E.,  
 YAGUSPSKY, A. (2001).  
*The Taubman techniques*.  
 Medusa, NY : Taubman Institute.

VANT, C. (2007).  
*Driving point impedance measurements during piano playing*. (Thèse de maîtrise).  
 Disponible avec Proquest

Dissertations and Theses  
 database. (AAT MR33672).

WHEATLEY-BROWN, M.,  
 COMEAU, G., RUSSELL, D.  
 (SOUS PRESSE).  
*An analysis of terminology used to describe tension and relaxation in piano technique*. Arts Biomechanics.

WHEATLEY-BROWN, M. (2011).  
*An Analysis of Terminology Describing the Physical Aspect of Piano Technique*. (Thèse de maîtrise).  
 Disponible avec Proquest  
 Dissertations and Theses  
 database.(AAT MR86402).

WONG. G., COMEAU, G.  
 (2014, MAY).  
*The effects of somatic approaches on the physiology and tone quality of pianists*. Document non publié. *Actes du colloque Canadian University Music Society (MusCan) Annual Conference 2014*, Brock University, St. Catherines, Canada.