

Un produit universel pour une interface sur mesure

Julien Veytizou¹, Guillaume Thomann¹, François Villeneuve¹

¹ G-SCOP Science pour la Conception, l'Optimisation et la Production de Grenoble
46 avenue Félix Viallet – 38031 Grenoble Cedex 1 - France
{Julien.Veytizou@grenoble-inp.fr}

Abstract. L'intégration des usagers et des usages dans le processus de conception reste un défi à relever ; spécialement pour des utilisateurs atypiques comme les personnes en situation de handicap. Leur environnement n'est pas toujours adapté aux interfaces Homme/Machine. Dans le domaine musical, de nombreux systèmes permettent à ces utilisateurs de jouer de la musique à partir de sons numériques. Mais peu d'entre elles facilitent la pratique musicale sur des instruments acoustiques. Dans ce contexte spécifique, ce papier présente notre approche de conception centrée utilisateur pour la conception d'un produit universel. Ce système transforme un objet de l'environnement de l'utilisateur en interface sur mesure pour jouer des instruments de percussion.

Keywords: conception centrée utilisateur, environnement utilisateur, handicap, interaction Homme/Machine, musique acoustique, robotique musicale

1 Introduction

Traditionnellement, les concepteurs fabriquent des produits ou des interfaces pour des utilisateurs valides censés avoir des capacités motrices normales. Les utilisateurs atypiques, comme les personnes en situation de handicap, sont forcés de s'adapter à ces produits en utilisant des aides techniques [1][2]. Mais ces aides sont souvent abandonnées à cause de leur complexité d'utilisation. La principale raison est due à une prise en compte minimale de ces utilisateurs, de leurs besoins et de leurs exigences dans les activités de conception. Il existe principalement deux grands groupes de concepteurs de systèmes pour les utilisateurs en situation de handicap : Social Pull et Techno Push [3]. Les premiers (Social Pull) ont des besoins bien définis. Ils ont une bonne connaissance du handicap. Ils recherchent principalement des solutions technologiques pratiques et robustes, en ignorant souvent les technologies les plus avancées. Le risque majeur serait ici de se concentrer sur une solution obsolète, non utilisable et trop chère. Les seconds (Techno Push) ont une innovation technologique à proposer dont ils recherchent des applications dans le domaine du handicap. Le risque majeur serait ici de proposer des solutions pour des besoins imaginaires ou non-prioritaires. Une solution pour contourner ces problèmes est de créer des liens entre ces deux stratégies en travaillant avec une équipe multidisciplinaire. L'utilisation de la conception intégrée est une solution à cette problématique car elle intègre cette multidisciplinarité ainsi que tous les acteurs du

projet dans le processus de conception. Notre travail de recherche consiste à développer et fabriquer des interfaces physiques efficaces. Ces solutions facilitent l'accès à la musique acoustique pour des utilisateurs en situation de handicap moteur. Dans ce contexte, la question des utilisateurs est la suivante :

Malgré mon handicap, puis-je jouer de la musique sur des instruments acoustiques ?

Dans le cas de la batterie, l'utilisateur en situation de handicap ne pourrait pas tenir une mailloche pour réaliser une frappe sur l'instrument. Il est forcé d'utiliser une nouvelle interface couplé à un dispositif de frappe sur l'instrument. Actuellement, l'environnement des utilisateurs en situation de handicap n'est pas organisé pour accueillir des interfaces Homme/Machine. Une solution est la conception de produit unique pour chaque utilisateur. Mais ce processus peut être long et difficile en raison de la myriade de profils utilisateurs. Dans ce contexte, la question de recherche peut s'écrire :

Comment concevoir un produit universel qui transforme l'environnement de l'utilisateur en interface sur mesure ?

Pour répondre à ces questions, notre approche est la suivante :

- Rechercher les approches de conception traitant ces questionnements dans le domaine du handicap,
- Identifier les besoins des utilisateurs finaux pour la conception d'un tel produit,
- Effectuer des expérimentations in-situ pour l'évaluation de notre solution.

Dans cet article, nous présentons notre approche de conception pour la réalisation de notre produit. Puis cette approche est mise en application avec une identification des besoins, une présentation de notre concept de solution et quelques évaluations. Enfin, nous terminons par une conclusion et les travaux futurs.

2 Méthodologie de conception

La conception pour et avec les personnes en situation de handicap se présente comme une approche centrée utilisateur dont l'objectif est d'améliorer l'utilisabilité du produit comme facteur de qualité. Une méthodologie de conception principale existe sous cette appellation : la Conception Centrée Utilisateur (UCD, User-Centered Design en Anglais) définit par sa norme ISO 9241-210. Cette méthodologie propose des points techniques que le projet de conception doit prendre en compte : une connaissance des utilisateurs finaux (tâches, environnements), une participation active de ces utilisateurs (besoins et exigences), une répartition appropriée des fonctions entre les utilisateurs et la technologie, une démarche de conception itérative, l'intervention d'une équipe multidisciplinaire [4]. Le cycle de conception centrée utilisateur est décomposé en 6 étapes (Figure 1). C'est un processus itératif (étape 1 à 4) qui se termine quand la solution de conception satisfait aux exigences de l'utilisateur final (étape 5).

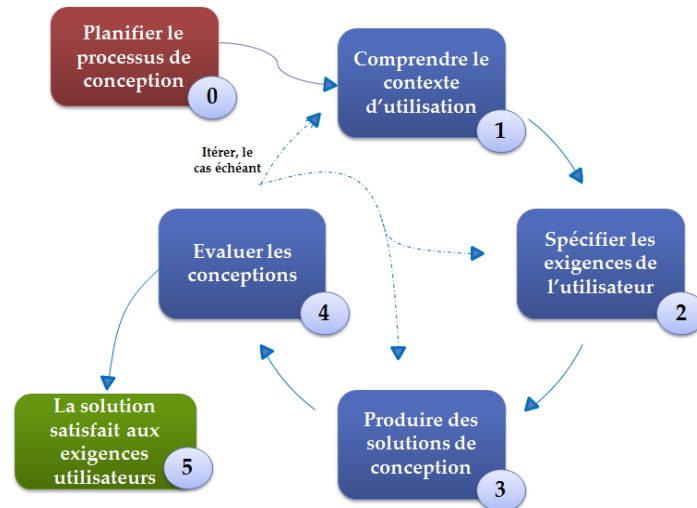


Fig.1 Le processus de conception centrée utilisateur

En lien avec cette méthodologie, différents courants de conception se positionnant aussi comme des approches centrées utilisateurs existent [5]. Parmi eux se présentent les courants universels [6][7]. Leur objectif est de concevoir des produits accessibles et utilisables par le plus grand nombre d'utilisateurs possibles. A l'opposé, les courants spécialisés sont connus [8][9]. Leur objectif est de concevoir des produits uniques ou sur mesure basés sur les besoins de l'utilisateur ou d'une situation médicale particulière. Ces différentes approches de conception centrée utilisateur sont utilisées comme support pour la réalisation de notre produit. Nous appliquons le processus de conception défini par la norme ISO 9241-210 pour la réalisation de notre interface. Notre démarche se divise en trois parties :

- Identification des besoins pour comprendre le contexte d'utilisation et spécifier les exigences de notre système
- Prototypage d'un concept de solution après analyse d'une structure et architecture produit répondant aux besoins
- Evaluation de la solution par des expérimentations in-situ.

3 Application : étude préliminaire

Pour l'identification des besoins, nous avons travaillé en collaboration avec l'association AE2M de Grenoble. Cette association conçoit des interfaces Homme/Machine permettant la pratique de la musique sur des instruments acoustiques pour des utilisateurs en situation de handicap moteur. C'est une équipe multidisciplinaire qui est entourée de trois domaines de compétences : musical, paramédical et ingénierie. Notre identification des besoins est divisée en 3 parties : identification à partir des utilisateurs de handicap pour comprendre le contexte d'utilisation de notre produit, identification à partir des systèmes existants avec l'association AE2M pour spécifier les exigences de notre produit, identification à

partir de l'interaction homme machine pour comprendre l'interaction avec notre futur système.

3.1 Utilisateur en situation de handicap

Les caractéristiques utilisateurs définissent le contexte dans lequel le produit sera utilisé. La définition de la CIF (Classification Internationale du Fonctionnement, du handicap et de la santé) proposé par l'OMS (l'Organisation Mondiale de la Santé) est utilisée comme support pour comprendre la terminologie du terme handicap [10]. Cette définition fournit un langage commun pour tous les acteurs du projet de conception. Elle est basée sur les structures et fonctions anatomiques, les limitations d'activités, la restriction de participation et les facteurs environnementaux important à l'utilisateur. Le handicap résulte de l'interaction entre une personne ayant des conditions de santé et les facteurs contextuels (personnels et environnementaux). La déficience se réfère à des modifications des fonctions corporelles ou des structures anatomiques, comme la paralysie. Les limitations d'activités sont les difficultés qu'une personne peut rencontrer dans ces activités (marcher, manger, jouer, etc). Les restrictions de participation sont les problèmes qu'une personne peut rencontrer pour participer à une situation de la vie quotidienne, telles que l'inaccessibilité des transports ou la pratique musicale en concert. Dans notre cas, les utilisateurs demandeurs de ce système sont pour la plupart lourdement handicapés et équipés de fauteuil électrique.

3.2 Les systèmes existants

Plusieurs interfaces conçues permettent la pratique de la musique à partir de sons numériques. Le BAO-PAO [11] s'intègre parfaitement à la musique assistée par ordinateur. Il a besoin pour fonctionner d'un ordinateur et d'un logiciel spécial. Il se compose de quatre arcs en acier rigides, terminées chacune par deux sphères aux extrémités. Un faisceau laser passe entre la sphère supérieure et inférieure. Il génère un son lorsque le musicien l'a traversé avec une baguette ou à sa main. TouchTone [12] est un instrument de musique électronique. Son objectif est de développer les aptitudes musicales, de développer la coordination bi manuelle et d'accroître la participation sociale des enfants atteints de paralysie cérébrale. Le GUI // RO [13] est un instrument contrôlé par un stylet, augmenté d'un retour de force. Le système est fabriqué au moyen d'un électroaimant contrôlé par la carte Arduino. Les sons et les effets haptiques sont générés par la position du stylet sur l'écran tactile. Avec ces solutions, les utilisateurs peuvent jouer de la musique grâce aux sons synthétisés. Cependant, l'instrument de musique est dématérialisé. L'installation et le transport peut être difficile et non adapté à l'environnement des utilisateurs en situation de handicap. Les interfaces fabriquées par l'association AE2M permettent à leur utilisateur de jouer sur des instruments de percussion. Une solution spécifique réalisée est un système électromécanique permettant la frappe d'une mailloche sur des instruments de percussion. L'utilisateur actionne le système par le biais d'accessoires du commerce (contacteurs, bouton poussoir, pression, etc). Avec ce système, le musicien ne peut réaliser différentes vitesses de frappe sur l'instrument. La préparation des activités musicales peuvent être longues et difficiles à cause de la

myriade de profils utilisateurs. Ce système rencontre donc certaines difficultés de s'intégrer naturellement dans l'environnement de l'utilisateur.

3.3 Interaction homme machine

Pour définir les tâches utilisateurs sur l'interface, il est important de concevoir l'interaction homme machine. Dans notre contexte musical, Métois propose une définition générale qui considère le « geste musical » comme tout ce qui remplit l'espace entre les intentions musicales (cognition) et les sons musicaux (ondes physiques) [14]. Le « geste musical » intègre le concept du « geste instrumental ». Cadoz définit « le canal gestuel » comme un moyen bidirectionnel d'agir sur le monde physique : l'envoi et la réception de l'information. Puis sa définition considère le « geste instrumental » comme une modalité de communication spécifique au « canal gestuel » [15] : il s'applique à un objet matériel et il y a une interaction physique avec lui, dans ce contexte d'interaction se produisent des phénomènes physiques, ces phénomènes peuvent devenir des messages communicationnels.

3.4 Synthèse

Ces différentes analyses permettent de décrire les besoins ainsi que les exigences de notre réalisation d'interface. Dans notre contexte musical, nous devons proposer une interface innovante à des utilisateurs en situation de handicap moteur. Cette solution permettrait de jouer de la musique (activité) et ainsi de participer à un concert (participation) avec le même niveau d'autonomie qu'une personne valide (structure et fonction du corps). Pour les spécialistes du domaine musical et paramédical, notre solution doit être facile à installer, s'intégrer naturellement dans l'environnement de l'utilisateur. Le système doit réaliser différentes vitesses de frappes sur l'instrument de musique. Les ingénieurs recommandent une solution avec un minimum d'équipement électronique. La maintenance doit être facile. En plus, le temps entre la détection de l'action de l'utilisateur et la réponse du système doit être transparent. Le musicien recommande un temps de retard de moins de dix millisecondes. **Notre proposition est de transformer n'importe quel objet de l'environnement de l'utilisateur comme une unité d'action pour un système électromécanique positionné sur l'instrument.**

4 Proposition d'un concept de solution

Cette partie présente notre concept de solution à partir de la synthèse précédente. La structure produit est définie avec une représentation de l'interaction Homme/Machine dans notre contexte spécifique. Son architecture est décrite avec une décomposition fonctionnelle des composants.

4.1 Structure produit

La structure produit se base sur notre propre représentation de l'interaction Homme/Machine en utilisant les définitions du « geste musical et instrumental » (Figure 3). Dans notre contexte, l'utilisateur a une intention musicale. Il réalise une

action sur un objet de son environnement. Cette interaction produit des phénomènes physiques (vibration, pression...) qui peuvent être contrôlés par l'utilisateur (durée, amplitude). Ces phénomènes peuvent donc devenir des messages communicationnels pour contrôler un système électromécanique. Ce système permet la frappe d'une mailloche sur un instrument de percussion. Les éléments essentiels dans la conception de notre futur produit sont : « un capteur à pince » pour la détection de phénomènes physiques, des cartes électroniques pour transformer ces phénomènes en message d'action pour des actionneurs (électroaimant) positionnés sur l'instrument de musique. Le développement est inspiré des différents travaux réalisés par le L.E.M.U.R¹. Il est le réalisateur du célèbre Orchestrion de Pat Metheny composés de quarante instruments de musique robotisés. Les moyens mis en œuvre mobilisent principalement des moteurs pas à pas, des servomoteurs et des électroaimants comme actionneurs, contrôlés par des signaux PWM (Pulse Width Modulation) [16][17].

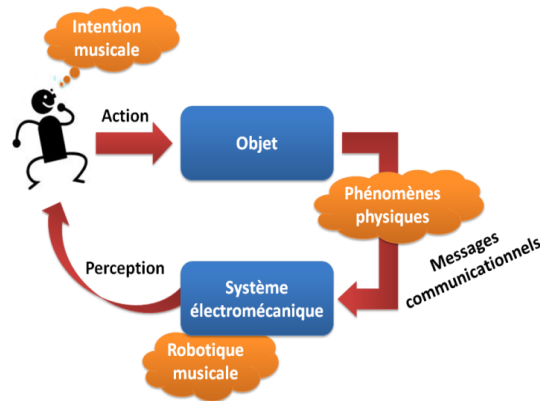


Fig.3 Interaction Homme/Machine de notre produit

4.2 Architecture produit

A partir des définitions précédentes, cette partie décrit l'architecture de notre produit. Elle est divisée en deux parties (Figure 4) : une partie contrôle avec un capteur à pince, des cartes électroniques et les entrées d'un microcontrôleur, et une partie actionneur avec les sorties d'un microcontrôleur, des cartes électroniques et un système mécanique.

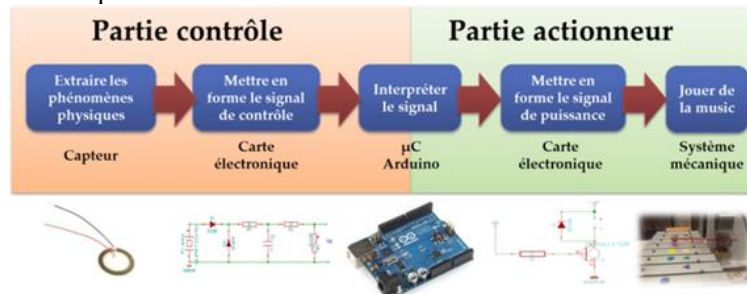


Fig.4 Architecture produit

1. L.E.M.U.R League of Electronic Musical Urban Robots

Le capteur délivre un signal. Il est interprété par un microcontrôleur pour commander un système mécanique. Cette commande est relative aux intentions musicales de l'utilisateur. Dans notre cas, la carte Arduino correspond à nos attentes. Ce matériel est open source et facile à utiliser. Ce matériel est très utilisé dans la conception de nouvelles interfaces pour l'expression musicale [18]. Après cette interprétation, un signal PWM est généré en sortie du microcontrôleur pour commander un électroaimant. Le courant de sortie est trop faible pour commander ce système, un traitement de signal de puissance est donc nécessaire. Tous ce processus doit être réalisé en moins de dix millisecondes.

5 Evaluation de la solution

Cette section présente une évaluation de la solution de conception par rapport aux besoins et exigences des utilisateurs. Différentes expérimentations ont permis le choix du capteur et l'étude de la vitesse de frappe.

5.1 Choix du capteur

Notre choix s'est dirigé vers l'utilisation de capteur piézoélectrique pour détecter les vibrations provoquées par l'utilisateur sur un objet. Ils sont peu chers (moins de deux euros), discrets (petite taille) et nécessitent aucune alimentation. Un protocole expérimental a été défini pour étudier la sensibilité de trois capteurs. Ils sont différents en taille et en forme: deux circulaires (Multicomp et Murata) et un rectangulaire (Prowave). Les trois capteurs sont disposés en arc de cercle à égale distance (d) d'une zone de perturbation (Figure 5). Dans cette zone, des poids différents sont jetés d'une même hauteur d'origine. La sensibilité est mesurée à l'aide d'un oscilloscope. L'amplitude du signal en volt est mesurée lorsque le poids entre dans la zone de perturbation (Figure 6).

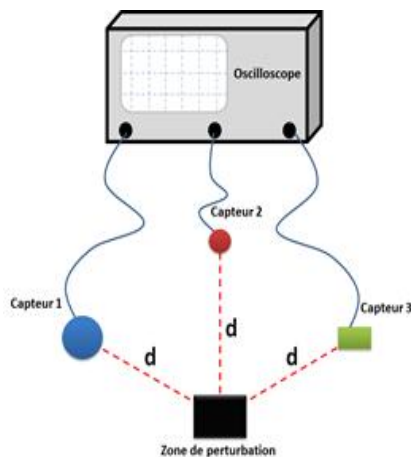


Fig. 5 Protocole de test pour le choix du capteur

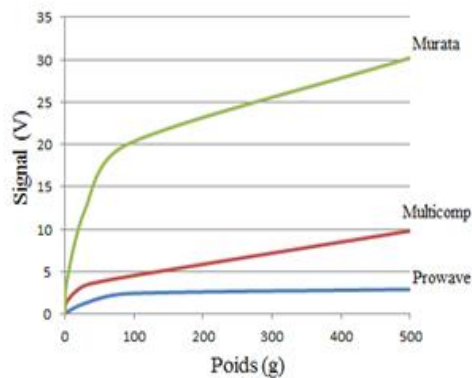


Fig.6 Analyse de la sensibilité des capteurs piézoélectriques

Pour un poids de 500 grammes, Murata donne un signal de 30,2 volts, Multicomp 9,8 volts et Prowave 2,9 volts. Multicomp dépasse 5 volts pour un poids supérieur à 120 grammes et Murata pour quelques grammes. Cependant, Prowave ne dépasse jamais cette valeur. A partir de ces résultats, le capteur Murata est le plus sensible des trois. Il sera utilisé pour l'expérimentation suivante pour l'analyse de la vitesse de frappe.

5.2 Vitesse de frappe

Pour l'étude de la vitesse de frappe, le musicien demande à l'utilisateur d'effectuer trois coups différents (Piano, Mezzo, et Forte) sur une boîte en plastique. Sur cet objet est positionné notre capteur à pince. (n°1 sur la figure 7). Après le traitement de signal (n°2 sur la figure 7), le mouvement de la mailloche (n°3 sur la figure 7) sur l'instrument (n°4 sur la figure 7) est filmé. La vitesse de frappe est ensuite analysée avec le logiciel libre Kinovea, utilisé pour l'analyse vidéo par les entraîneurs sportifs, les artistes, les ingénieurs ou les ergonomes. Les résultats obtenus sont très encourageant (Figure 8). Trois vitesses de frappe en mètres par secondes sont enregistrées: la première à 0,4 m/s, la seconde à 0,7 m/s et la troisième à 1,9 m/s. Cette expérimentation a permis de mesurer le temps de réponse du système.

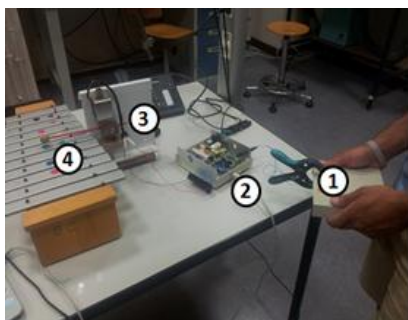


Fig.7 Protocole de test pour l'analyse des vitesses de frapes

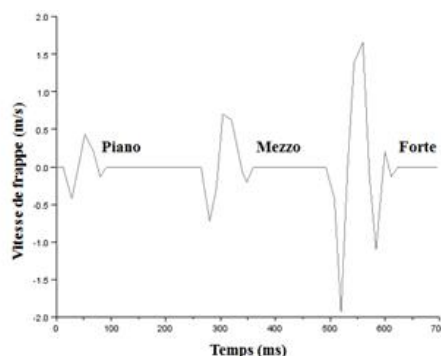


Fig.8 Analyse de la vitesse de frappe

6 Discussion

Notre défi est de proposer un produit universel pour une interface sur mesure. Le risque majeur dans le domaine de la conception de produit pour les utilisateurs en situation de handicap est de proposer des solutions avec une complexité d'utilisation et d'installation. L'utilisation de la méthodologie de conception centrée utilisateur a permis d'intégrer l'utilisateur ainsi que les parties prenantes du projet dans le processus de conception. Cette approche a permis une meilleure compréhension du contexte d'utilisation, une meilleure spécification des exigences liées aux futurs utilisateurs, de notre produit à concevoir. Dans notre contexte musical, la structure produit proposée permet la pratique musicale sur des instruments acoustiques pour les personnes en situation de handicap moteur. Avec un capteur piézoélectrique très sensible, l'utilisateur peut avec un minimum de mobilité contrôler la frappe d'une mailloche sur un instrument de percussion. Notre solution permet une installation

rapide grâce au capteur à pince ainsi qu'une meilleure intégration du système dans l'environnement de l'utilisateur. Il est possible d'ajuster la vitesse de frappe aux actions de l'utilisateur. Le temps de retard a été estimé à deux millisecondes, inférieur aux dix millisecondes préconisées par le musicien. L'architecture produit est basée sur une conception modulaire pour une meilleure séparation des principaux éléments du système. Elle permet d'utiliser au maximum des composants existants pour se connecter aux parties de l'architecture. L'utilisation de ce type de conception réduit les délais de développement et facilite donc la maintenance des systèmes. Ainsi, notre solution de concept a permis de répondre aux critères d'utilisabilité : efficacité (notre solution permet aux utilisateurs d'obtenir le résultat prévu, jouer de la musique sur des instruments acoustiques), efficience (notre solution permet d'atteindre le résultat prévu avec un moindre effort, par exemple actionner le système mécanique à partir du mouvement du doigt sur un objet). Les évaluations présentées ont permis de valider la satisfaction du système pour les professionnels du musical.

Cependant, d'autres études sont nécessaires pour évaluer la satisfaction (confort, bien-être et sécurité) de notre solution avec des utilisateurs potentiels. Des essais sont en cours de réalisation avec des enfants IMC (Infirmité Motrice Cérébrale) lors de séances musicales dans des IEM (Institut d'Education Motrice).

7 Conclusion

Notre objectif est la création d'interface Homme/Machine facilitant la pratique de la musique sur des instruments acoustiques. Notre approche est basée sur l'intégration des futurs « utilisateurs » et leurs besoins, ainsi que l'intégration d'une équipe multidisciplinaire dans nos activités de conception. Les différents supports de notre approche sont : une approche centrée utilisateur pour améliorer l'utilisabilité de notre futur produit, une intégration de compétences multiples avec l'association AE2M pour une bonne identification des besoins et exigences, une structure produit pour mieux intégrer notre système dans l'environnement de l'utilisateur, différentes expérimentations in-situ pour l'évaluation de notre concept de solution. Ainsi, notre contribution a permis une meilleure définition des situations d'usages de ces futurs produits dans notre contexte musique/handicap.

Avec ces résultats très prometteurs, les perspectives de travail reposent sur trois points essentiels. En utilisant des procédés de prototypages rapides, le futur système intégrera le capteur piézoélectrique dans une pince spécifiquement conçue aux conditions d'utilisation. Il sera possible d'adapter de manière intelligente les vitesses de frappes aux capacités motrices de l'utilisateur (Smart Product). Différentes évaluations seront effectuées sur la manipulation de notre système en concert.

Références

1. Keates, S., P. Clarkson, L. Harrison, and P. Robinson.: Towards a practical inclusive design approach. ACM Press New York, NY, USA, 2000
2. Krzysztof Z. Gajos, Jacob O. Wobbrock, and Daniel S. Weld.: Automatically generating user interfaces adapted to users' motor and vision capabilities. UIST '07: Proceedings of the 20th annual ACM symposium on User interface software and technology, New York, NY, USA, 2007.
3. Jean-Claude Sperandio: Designing technological devices for a normal population, namely

- also including disabled people and the elderly, in *Pistes*, p. Vol 9 No 2, 2007.
4. ISO 9241-210.: International Organization for Standardization. Ergonomics of human-system interaction -- Part 210: Human-centred design for interactive systems, 2010
 5. Plos, O., Buisine, S., Dupin, M., Aoussat, A., Dumas, C. : Universal Design : Proposition d'une nouvelle approche appliquée à la conception d'une table adaptative. Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française, pp. 339-348, 2007
 6. Plos, O., Buisine, S., Aoussat, A., Mantelet, F., Dumas, C.: A Universalist strategy for the design of Assistive Technology. *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 42, pp. 533-541, 2012
 7. Clarkson, J., et al.: *Inclusive Design: design for the whole population*. Springer 2003
 8. Harrison, M.; Stockton, C.; Pearson, E.: *Inclusive, Adaptive Design for Students with Learning Disabilities Advanced Learning Technologies*, ICALT '08. Eighth IEEE International Conference 2008
 9. Karmarkar, A., E. Chavez, and R.A. Cooper: Technology for successful aging and disabilities, in *The Engineering Handbook of Smart Technology for Aging, Disability and Independence*, 2008
 10. Ustün TB, Chatterji S, Bickenbach J, Kostanjsek N, Schneider M.: The International Classification of Functioning, Disability and Health: a new tool for understanding disability and health. *Disability and Rehabilitation*, 25, 565–571, 2003
 11. BAO- PAO, « <http://www.bao-pao.com/index.php> ». 2012
 12. S. Bhat: TouchTone: an electronic musical instrument for children with hemiplegic cerebral palsy, in *Proceedings of the fourth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction*, New York, NY, USA, 2010
 13. Alexander Müller, Fabian Hemmert, Götz Wintergerst, et Ron Jagodzinski: Reflective Haptics : Resistive Force Feedback for Musical Performances with Stylus-Controlled Instruments, in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, p. 477-478, 2010
 14. E. Métois.: *Musical Gestures and Audio Effects Processing - DAFX proceedings* 1998.
 15. C. Cadoz: Gestural channel of the man machine communication: instrumental communication, *TSI. Technique et science informatiques*, vol. 13, no. 1
 16. Ajay Kapur, Eric Singer, Afzal Suleman, et George Tzanetakis, A comparison of solenoid-based strategies for robotic drumming, *ICMC Copenhagen*, 2007.
 17. Ajay Kapur et Michael Darling: A Pedagogical Paradigm for Musical Robotics, presented at the *New Interfaces for Musical Expression*, Sydney, Australia, 2010
 18. Dimitri Diakopoulos, Ajay Kapur: HIDUINO : A firmware for building driverless USB-MIDI devices using the Arduino microcontroller, *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pp. 405–408, 2011.