

De la caractérisation des spécificités motrices vers la conception d'interfaces personnalisables

Julien Veytizou¹, Guillaume Thomann¹, François Villeneuve¹

¹Laboratoire G SCOP

46 avenue Félix Viallet 38031 Grenoble Cedex 01, France

E-mail : Julien.Veytizou@grenoble-inp.fr

Résumé : De nombreux produits d'assistances sont souvent abandonnés à cause de leur complexité d'utilisation. La principale raison est une prise en compte minimale de ces utilisateurs et de leurs facultés physiques dans le processus de conception. Dans cet article, nous proposons une méthodologie de conception permettant l'enchaînement de la caractérisation des spécificités motrices des usagers vers la conception d'interfaces personnalisables. Des outils ont été intégrés pour faciliter l'exécution des étapes de conception. L'application de notre processus dans un projet de conception a fourni des résultats très prometteurs en proposant des interfaces générées à partir des capacités motrices de l'utilisateur. Une évaluation croisée a permis de démontrer la pertinence de nos interfaces personnalisables comme les plus performantes en termes de demandes imposées à l'utilisateur et sur son interaction avec la tâche à réaliser.

Mots-clés ; conception centrée utilisateur, ingénierie de réadaptation, capacité motrice, Kinect, charge de travail

I. INTRODUCTION

L'autonomie, synonyme de liberté, se caractérise généralement comme la faculté d'agir par soi-même, par ses propres règles et sans assistance dans son environnement. Elle peut représenter la capacité d'une personne à manipuler un produit (ordinateur, instrument de musique) pour effectuer une activité de la vie quotidienne (écrire des mails, jouer de la musique). Ainsi, l'autonomie d'une personne est un des fondements de son insertion sociale et professionnelle (partage sur les réseaux sociaux, participation à un concert). Une déficience des facultés motrices des membres inférieurs et/ou supérieurs, qu'elle soit congénitale, due à un accident, une maladie ou la conséquence du vieillissement, va affecter cette autonomie avec de significatives répercussions sur la vie des personnes.

Une thérapie et une rééducation sont souvent suffisantes pour une guérison et un rétablissement de la fonction motrice déficiente (fracture des membres par exemple). Mais dans d'autres cas, la guérison ne peut être envisagée (paralysie par exemple). L'autonomie peut alors être retrouvée par l'utilisation de dispositifs d'assistance comme les aides techniques [1]. Pour les utilisateurs, ces technologies permettent de s'adapter aux produits existants (manipuler la souris de l'ordinateur avec un EyeTracker par exemple) ou au moins d'avoir un impact direct sur son autonomie (la mobilité

par les fauteuils roulants par exemple). Un rapport d'enquête réalisée par l'INSEE en 2001 montrent un besoin important d'assistance à la manipulation (seulement 35,3% de satisfaction pour une manipulation à distance) [2]. Malgré cela, ces aides sont souvent abandonnées notamment à cause de leur complexité d'utilisation. Les raisons sont la limitation des facultés des membres supérieurs et l'inconfort procuré par le dispositif de mobilité [3] ou une prise en compte minimale de ces utilisateurs dans le processus de conception. Dans ce cas, il peut être difficile de proposer une nouvelle interface à ces utilisateurs pour effectuer une tâche (par exemple jouer de la musique). Non seulement l'utilisateur mais aussi ces facteurs humains personnels et environnementaux doivent être pris en compte dans le processus de conception. Les capacités motrices des utilisateurs mais aussi d'autres expertises peuvent constituer ces facteurs humains.

Intégrer et impliquer l'utilisateur en situation de handicap dans le processus de conception a été étudié avec la méthodologie de Conception Centrée Utilisateur (CCU ou UCD en anglais). L'objectif de cette méthodologie est d'améliorer l'utilisabilité du produit comme facteur de qualité grâce à plusieurs points techniques à suivre. Les points suivants sont pointés par la norme ISO 9241-210 [4] : une connaissance des utilisateurs finaux (tâches, environnements), une participation active des utilisateurs (besoins et exigences), une répartition appropriée des fonctions entre les utilisateurs et la technologie, une approche itérative pour la conception et l'intervention d'une équipe multidisciplinaire. La méthodologie CCU a été appliquée dans plusieurs projets de conception comme la conception de matériel d'assistance pour les soins corporels [5] ou la conception d'un système de communication [6]. Elle a permis aux concepteurs de créer des concepts d'aides techniques en offrant un design adapté.

L'ingénierie de réadaptation est une approche cherchant à quantifier, mesurer et suivre la performance humaine pour fournir de meilleures adaptations [7]. Pour James Reswick, l'ingénierie de réadaptation est l'application de la science et de la technologie pour améliorer les handicaps des personnes en situation de handicap [8]. Elle permet de développer, adapter, appliquer et évaluer les solutions sur les obstacles rencontrés par les utilisateurs en situation de handicap.

Malgré tout, les tests avec les utilisateurs demandent des moyens financiers et du temps qui ne sont pas toujours compatibles avec les projets de recherche et développement

[9]. Ils peuvent causer la fatigue de l'utilisateur (tests longs et ennuyeux) et affecter « l'estime de soi » de l'utilisateur [10]. Ainsi, il est primordial d'intégrer dans le processus de conception des outils permettant de réduire ces facteurs.

Le projet **CARACTH** (**CARACT**érisation des spécificités motrices d'utilisateur en situation de **Handicap**) a pour ambition de fournir un modèle des spécificités motrices des utilisateurs en situation de handicap moteur. Ce modèle permettra à l'équipe de conception de produire des concepts de solutions de produits adaptés aux capacités motrices de son utilisateur. Ce projet permet la création d'expertises sur les spécificités motrices des usagers en situation de handicap. Il s'agit de proposer des outils de mesures sur leurs possibilités gestuelles qui seront intégrés dans un processus de conception. Ce projet a amené à poser les questions suivantes :

- **Quelle méthode permet l'enchaînement de la caractérisation des spécificités motrices vers la conception d'interface personnalisée ? Et avec quels outils ?**
- **Quel est la pertinence des interfaces personnalisées sur la performance de l'utilisateur ?**

Pour répondre à ces questions, nous suggérons de coupler les approches de la CCU et les approches d'ingénierie de réadaptation dans l'objectif de proposer notre processus de conception CARACTH (Partie II de l'article). Il est important d'apporter notre réflexion sur les outils intégrés dans ce processus de conception. Ces outils doivent permettre de mesurer les capacités motrices des usagers, de faciliter et de répondre aux besoins des étapes du processus de conception CARACTH (Partie III de l'article). Enfin, il est primordial d'évaluer la personnalisation des interfaces dans un projet de conception (Partie IV de l'article).

II. LE PROCESSUS DE CONCEPTION CARACTH

Notre processus de conception est basé sur la méthode de conception CCU et les approches d'ingénierie de réadaptation. Il inclut une active participation de l'utilisateur dans le processus de conception et un suivi de ses performances humaines. L'objectif est de fournir des solutions de conceptions mieux ajustées aux capacités de l'utilisateur. Après avoir spécifié le contexte d'utilisation et les exigences de l'utilisateur, les étapes principales de ce processus sont :

- Analyser les spécificités physiques (1 sur la Figure 1)
- Créer un modèle utilisateur (2 sur la Figure 1)
- Proposer une solution de conception (3 sur la Figure 1)
- Evaluer la solution de conception (4 sur la Figure 1)

Le concepteur propose une nouvelle solution de conception tant qu'elle ne répond pas aux exigences de l'utilisateur dans son environnement d'utilisation. Ces activités sont représentées par les phases d'itérations entre les étapes 3 et 4 sur la Figure 1 ci-dessous.

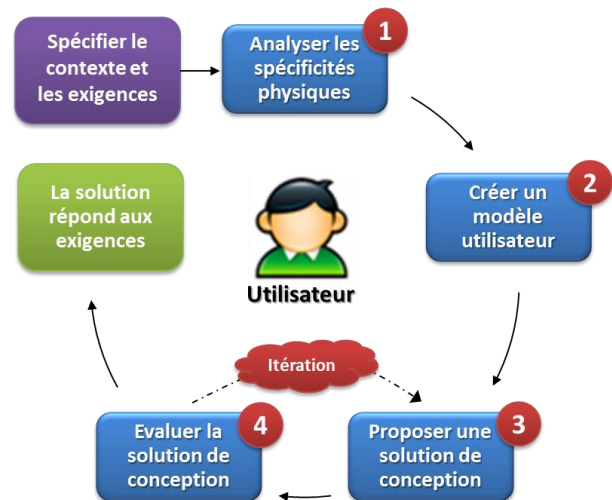


Fig.1. La méthodologie du processus de conception CARACTH

A. Analyser les spécificités physiques

La connaissance du handicap de l'utilisateur permet la génération d'un environnement dédié, avec l'objectif de réaliser une activité primaire (AP). Cette AP consiste à réaliser une tâche simple par l'utilisateur. Elle doit être motivante et ludique en prenant compte l'environnement dans laquelle elle sera réalisée. L'analyse de cette AP permet une collection des performances motrices de l'utilisateur par le concepteur. Les tâches et actions pour réaliser cette AP sont créées à partir des capacités physiques et mentales de l'utilisateur (elles sont liées à l'objet de conception). Elles sont logiquement similaires à celles qu'il utilisera à travers sa future interface personnalisable. Après de nombreuses observations sur le terrain, des critères ont été développés pour assurer le succès de cette étape :

- Les analyses des AP doivent permettre une collection de données rapides. Le temps passé pour les expérimentations peut être limité.
- Le matériel utilisé pour la collection des données physiologiques de l'utilisateur est facile à installer et portable. De nombreuses expérimentations sont effectuées sur le terrain.
- Le système de capture de données doit respecter une caractérisation non-invasive et non-intrusive. Harnacher un utilisateur avec des capteurs peut entraîner du stress et augmente le temps de préparation des expérimentations.

B. Créer un modèle utilisateur

Le modèle utilisateur représente les facultés physiques sous forme de données statistiques, de graphiques ou de rapport. Il fournit des informations utiles pour l'équipe de concepteurs dans le but de créer une interface personnalisable aux capacités physiques de l'utilisateur. Après une analyse des données obtenues dans l'AP, nous caractérisons ses capacités d'exécution de la tâche requise. Pour cela, les déplacements du corps et/ou les efforts dans le plan de l'objet de conception sont étudiés. A cette étape du processus, les concepteurs ont la possibilité de créer un modèle en temps-réel ou a posteriori

s'ils ont plus de contraintes de temps. Une sauvegarde des données est donc nécessaire.

C. Proposer une solution de conception

Avant de proposer une solution de conception, il est nécessaire de spécifier les tâches, l'interaction et l'objet de conception de l'utilisateur. A cette étape du processus, il s'agit de concevoir des interfaces pour satisfaire aux exigences de l'utilisateur. Les concepteurs déterminent la façon dont l'utilisateur accomplit la tâche avec l'objet de conception plutôt que de décrire comment le système fonctionne. Les décisions de conception peuvent être le support de l'objet à concevoir (mécanique, électronique, graphique...) ou la modalité (son, visuel, tactile) [4]. Les solutions à concevoir peuvent être créées à partir de scénario d'usage, de simulation ou de prototype. Les différentes propositions doivent être explicites, faciles à comprendre et à utiliser. A cette étape du processus, il est primordial de présenter les solutions de conception aux utilisateurs avec l'opportunité de réaliser les tâches. A partir d'un retour utilisateur, le concepteur doit prendre en compte la possibilité de modifier la solution de conception proposée. Cela requiert le contrôle des phases d'itérations dans la conception. La nature des problèmes identifiés ainsi que les modifications de conception adoptés doivent être répertoriées. Le processus de conception **CARACTH** propose de personnaliser l'objet de conception aux facultés physiques de l'utilisateur qui sont définies à l'étape précédente « Créer un modèle utilisateur »

D. Evaluer la solution de conception

Cette étape permet aux concepteurs de vérifier si la solution de conception répond aux exigences de l'utilisateur. L'objectif est de fournir un retour sur les avantages et les inconvénients de la solution de conception à partir du point de vue de l'utilisateur. Cette évaluation centrée utilisateur peut donner des nouvelles informations sur les besoins de l'utilisateur. Elle peut être utilisée pour établir une comparaison de différentes solutions de conception. A cette étape du processus, il est opportun de définir les parties de la solution de conception à évaluer, la méthode d'évaluation et l'évaluation du processus.

III. LES OUTILS DU PROCESSUS CARACTH

Cette partie présente quelques outils sélectionnés pour être utilisés dans notre processus de conception CARACTH.

A. La Kinect pour analyser les spécificités physiques

Pour assurer le succès de l'étape 1 « Analyser les spécificités physiques », la Kinect de Microsoft a été utilisée. Ce matériel low-cost intègre un algorithme pour déterminer automatiquement les articulations de l'utilisateur en trois dimensions et en temps réel. Pour notre processus CARACTH, la Kinect présente des avantages considérables : sans marqueurs [11], portatifs [12], et proposant une collecte de données rapides [13]. Ces caractéristiques permettent de réduire le temps requis pour l'installation de l'équipement et la récupération des données à analyser [14]. Pour formater les données de la Kinect, un outil logiciel en C# a été développé et adapté aux situations d'usages : le *KinectLab*. Le SDK

(Software Development Kit) KinectForWindow version 1.8 a été utilisé. Son architecture est détaillée sur la Figure 2 et la Figure 3 présente une vue de l'interface.

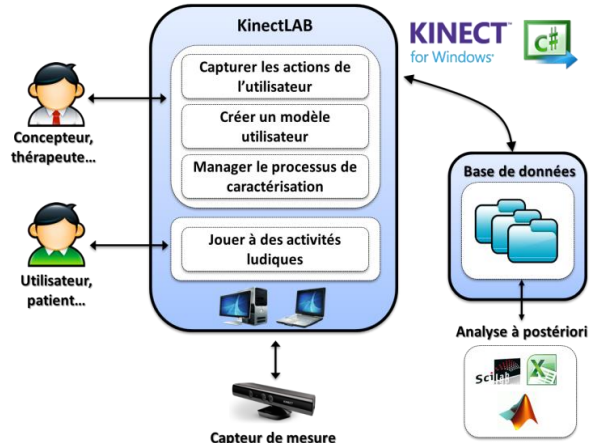


Fig.2. Architecture de l'outil logiciel adapté aux situations d'usages

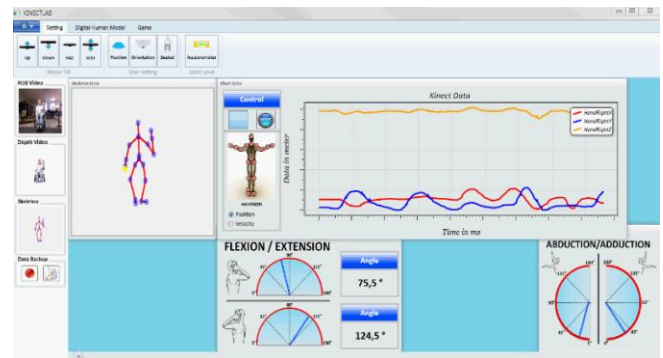


Fig.3. Interface du KinectLab

A partir de cet outil, le concepteur propose des jeux ludiques aux utilisateurs. Un jeu correspond à une AP permettant d'analyser les spécificités physiques d'un utilisateur. A partir de cette activité, le concepteur peut capturer les actions physiques de l'utilisateur à partir du capteur de mesure Kinect et manager le processus de caractérisation. L'interface lui permet par exemple l'optimisation aisée du placement de l'utilisateur devant la Kinect, la visualisation de ses actions en temps-réel, la sauvegarde des mesures et la gestion d'une base de données. Il a le choix de créer un modèle utilisateur dans l'outil logiciel ou a posteriori à l'expérimentation.

B. Les densitogrammes comme modèle utilisateur

Le modèle utilisateur doit être en accord à l'objet de conception, facile à comprendre pour le concepteur et reproductible d'une expérience à une autre. La méthode des densitogrammes a été utilisée comme outil pour cette étape. Dans les cas d'étude de la capture de mouvement, la modélisation par densitogramme permet de visualiser les déplacements du corps humains et d'identifier les zones sur-sollicitées sur une interface utilisateur [15][16]. Par exemple, si l'objet de conception est une interface en deux dimensions, la méthode pour la génération d'un tel modèle est la suivante (voir Figure 4) :

- Diviser le plan d'interface sous forme d'une grille bidimensionnelle. Chaque cellule de la grille est appelée « une section ».
- Comptabiliser le nombre de passage d'une partie du corps pour chaque section. Pour chaque nouvelle donnée sauvegardée dans l'AP couplée avec la section, la valeur ou « poids » est incrémenté de 1.
- Assigner une couleur pour chaque section à partir du nombre de passage.

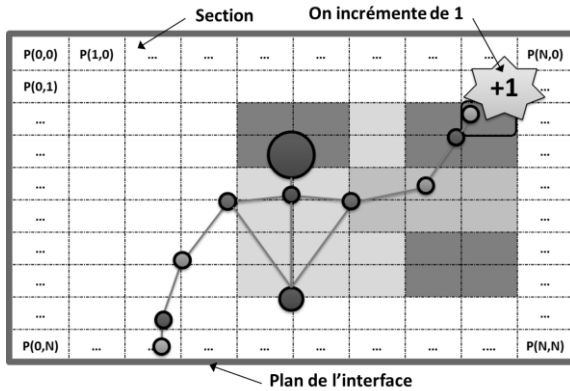


Fig.4. Une illustration des modèles par densitogramme à partir des mouvements de la main droite de l'utilisateur. Plus les couleurs des sections sont foncées et plus les passages, avec la main droite, sont élevés.

C. La charge de travail comme évaluation des solutions

Dans l'étape 4 « Evaluation des solutions » du processus de conception CARACTH, les concepteurs souhaitent s'assurer que la solution de conception répond aux exigences en termes de charge de travail et d'utilisabilité. La méthode subjective TLX (Task Load Index) développée par la NASA [17] est utilisée comme outil à cette étape. Elle a l'avantage d'être facilement programmable. Elle évalue les composantes physiques et mentales de la charge de travail. Cette méthode implique de demander à l'utilisateur d'évaluer six composantes (score entre 0 et 10 par exemple) sur les tâches et actions réalisées. Mais pour l'utilisateur, ses composantes n'ont pas la même importance. Le principe de la méthode est de comparer chaque composante deux à deux. L'utilisateur choisit celle qui a le plus d'influence sur sa charge de travail. De cette procédure, il est possible de déduire un score TLX d'un utilisateur mobilisant une interface.

IV. EXPÉRIMENTATIONS ET RÉSULTATS

L'objectif de cette expérimentation est d'appliquer le processus de conception CARACTH dans un projet de conception d'interfaces personnalisables. Elle permet de déterminer la pertinence de cette personnalisation sur les performances de l'utilisateur. Dans cette partie, l'objet de conception, le protocole expérimental ainsi que les résultats obtenus sont présentés

A. Définition de l'objet de conception

Il est important de comprendre les interactions de l'utilisateur avant de concevoir une solution. Notre projet de conception est de générer une action (comme activer un son) à partir des possibilités gestuelles de l'utilisateur. Le support de notre

objet de conception est une interface virtuelle bidimensionnelle. Une silhouette de l'utilisateur est affichée sur cette interface. Un curseur est positionné sur une partie du corps de l'utilisateur. Ce curseur se déplace en conséquence lorsque le corps bouge. Des boutons virtuels sont affichés et un son numérique est joué si l'utilisateur déplace le curseur à l'intérieur de ces boutons. La position, la taille, la hauteur et le nombre de boutons virtuels sont définis à partir des zones de mouvement sur-sollicitées de l'utilisateur, identifiées dans son propre modèle.

B. Protocole expérimentale

Le protocole expérimental a été conduit en deux phases. La première phase a permis la caractérisation des spécificités physiques de trois utilisateurs (U1, U2 et U3) et la génération d'une solution de conception pour chacun (I1, I2, I3) à partir de leur modèle utilisateur (M1, M2 et M3). La seconde phase a permis une évaluation croisée des solutions de conception pour déterminer la pertinence de la personnalisation des interfaces utilisateurs. Nous avons voulu vérifier si la charge de travail de l'utilisateur est plus faible lorsqu'il manipule une interface générée à partir de son propre modèle utilisateur.

L'utilisateur U1 n'est pas capable de lever son bras au-dessus de son épaule (abduction de l'épaule inférieure à 90°). L'utilisateur U2 ne peut pas tendre son bras (extension du bras inférieure à 90°). L'utilisateur U3 ne peut bouger que son avant-bras, son bras est collé à son tronc. A partir de cette identification, tous les utilisateurs peuvent bouger leur main dans leur environnement. Chaque utilisateur a effectué une activité de peinture avec la main droite pendant une minute, sur le même support que l'objet de conception présenté juste avant. Pendant ce temps d'analyse, les positions de la main droite du squelette numérique ont été sauvegardées dans un fichier texte. A partir de ces données, trois modèles utilisateurs M1, M2 et M3 ont été créés à partir des méthodes par densitogramme avec une grille de 20x20 sections. La valeur de chaque section et une Mapcolor ont été générées avec le logiciel de calcul numérique Scilab. Trois solutions de conception I1, I2 et I3 ont été produites selon chaque modèle utilisateur. Pour l'évaluation croisée, chaque utilisateur a manipulé les trois solutions de conception I1, I2 et I3 pendant deux minutes. Ils ont évalué séparément chaque interface avec la méthode TLX. Finalement, l'interface de l'activité primaire (activité de peinture), l'enregistrement des données, la génération de l'interface, la capture des parties du corps tout comme la silhouette de l'utilisateur ont été effectués avec le capteur Kinect et notre outil logiciel implémenté.

C. Modèles utilisateurs et solutions de conceptions

Cette partie présente les résultats de la première phase de notre protocole expérimentale. Les modèles utilisateurs M1, M2 et M3 sont représentés sur la Figure 5 et les solutions de conceptions I1, I2, et I3 sur la Figure 6. Trois zones sur-sollicitées ont été définies pour U1 et U2, et deux zones pour U3. Les modèles utilisateurs montrent que U1 a plus d'amplitude que U2 et U3. Les boutons virtuels sur l'interface U1 sont plus espacés. U3 a plus de difficultés de lever son bras

par rapport à U2. Cette identification est représentée en comparant leurs modèles. Les zones sur-sollicitées sont plus basses pour U3 que U2.

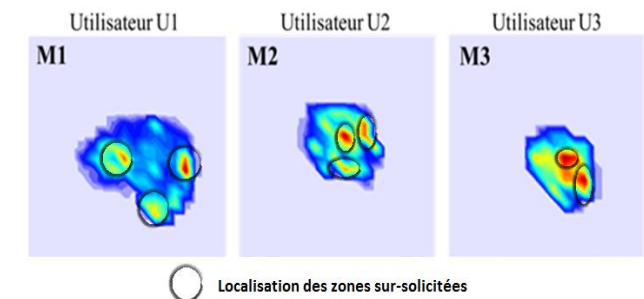


Fig.5. Les modèles utilisateurs (M1, M2 et M3) générées après l’AP



Fig.6. Les solutions de conception (I1, I2 et I3) générées au regard des modèles utilisateurs

D. Evaluation croisée

Cette partie présente les résultats de la seconde phase de notre protocole expérimentale. Les Figures 7, 8 et 9 montrent respectivement pour les utilisateurs U1, U2 et U3 l’évaluation de chaque composantes TLX sur les trois solutions de conception I1, I2 et I3: exigences mentales (M), exigences physiques (P), exigences temporelles (T), performance (Pe), effort (E) et frustration (F) pour les trois interfaces I1, I2 et I3. Les composantes M, P, T, E et F sont notées de Faible (score 0) à Elevée (score 1). La composante Pe est notée de Bonne (score 0) à Mauvaise (score 1).

Les résultats des composantes TLX M, P, T, E et F, sont plus faibles pour les interfaces générées à partir du modèle utilisateurs (I1 pour U1, I2 pour U2 et I3 pour U3). Pour la composante Pe, la performance de U1 était meilleure avec l’interface I3. La raison était que le bouton virtuel en haut à gauche de l’interface était un peu trop à gauche. Par contre, U1 n’était pas frustré pour manipuler l’interface générée à partir de son modèle et les efforts pour réaliser ses tâches étaient plus faibles. Pour U2 et U3, la performance était meilleure avec leur propre interface.

La Figure 10 représente les résultats de l’évaluation croisée de la charge de travail pour chaque solution de conception générée à partir des résultats de chaque composante TLX et des regroupements par paire. A chaque interface est associée la valeur de la charge de travail correspondante à chaque utilisateur. Les résultats montrent que chaque utilisateur a évalué l’interface générée à partir de son modèle utilisateur

comme la plus performante : U1 a une valeur de charge mentale plus faible pour I1 que pour I2 et I3. Idem pour U2 et U3.

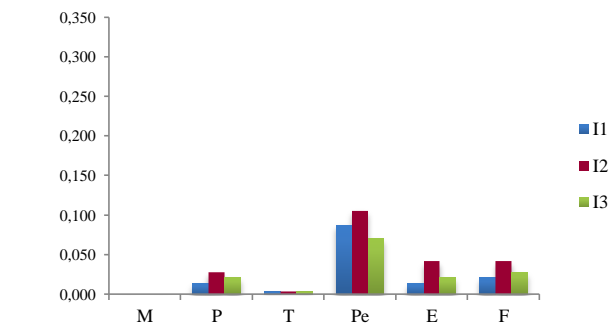


Fig.7. Evaluation par l’utilisateur U1 de chaque composante TLX pour les trois interfaces

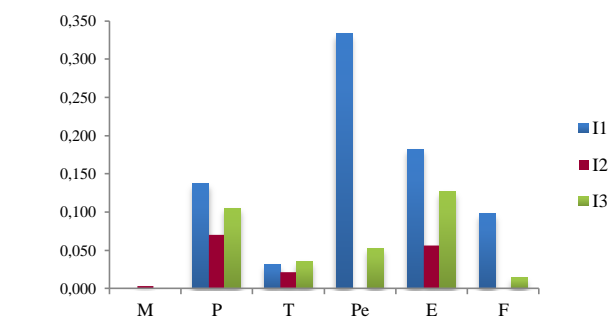


Fig.8. Evaluation par l’utilisateur U2 de chaque composante TLX pour les trois interfaces

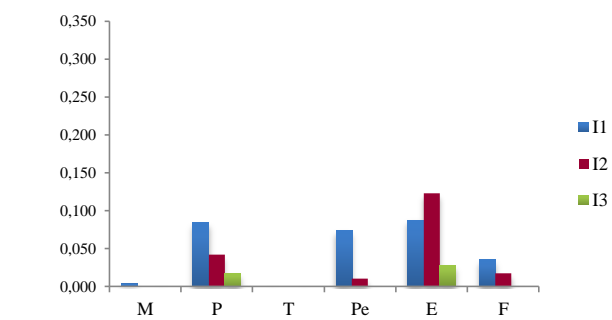


Fig.9. Evaluation par l’utilisateur U3 de chaque composante TLX pour les trois interfaces

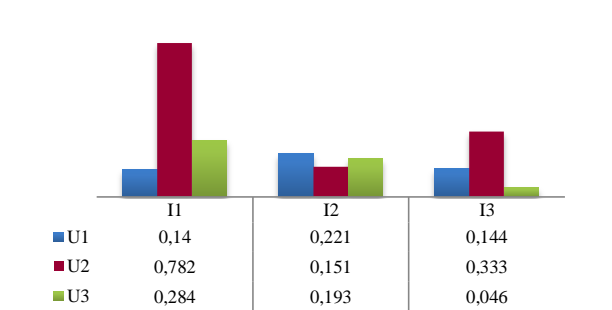


Fig.10. Evaluation croisée de la charge de travail pour chaque interface

V. DISCUSSION

Ce travail a permis de proposer une méthodologie de conception adaptée à une approche centrée utilisateur et

d'ingénierie de réadaptation. Elle permet de lier la caractérisation des spécificités des usagers (étape 1 et 2 de la Figure 1) et la conception d'une interface (étape 3 et 4 de la Figure 1). Des outils adaptés aux situations d'usages ont été intégrés pour assurer le succès des étapes de conception. Le logiciel conçu permet une capture des données en temps-réel. Dans notre contexte, ce gain de temps est synonyme de grande qualité. Il est plus facile et plus rapide de proposer des solutions de conception aux utilisateurs tout en leur donnant la possibilité de réaliser une activité précise. Ce facteur est crucial pour réduire les temps de R&D.

Notre processus de conception CARACTH permet une connaissance en amont de l'utilisateur par rapport à ces facteurs humains grâce à l'analyse des spécificités motrices et la création d'un modèle utilisateur. Intégrer ces étapes dans le processus de conception a permis de proposer un cahier des charges plus élaboré en y intégrant les facultés physiques des usagers. L'impact a été considérable sur le nombre d'itérations dans notre projet de conception. La solution de conception a répondu du premier coup aux exigences de l'utilisateur et aux critères d'utilisabilité : efficacité (la cible est atteinte), efficience (la cible est atteinte avec un moindre effort) et satisfaction (notre solution permet un confort, bien-être et sécurité).

Notre AP est une activité de peinture réalisée en un temps très court, comme le reste des traitements des informations, synonyme de qualité. Si le temps pour accomplir cette tâche était plus élevé, nous supposons que le modèle utilisateur ne serait malgré tout pas très éloigné des résultats actuels. Pour vérifier cela, il serait nécessaire de réaliser l'AP plusieurs fois. Cela impliquerait directement une augmentation du temps de la conception. D'autres informations peuvent ressortir de cette activité de peinture comme les angles entre les articulations, la vitesse des mouvements ou la posture de l'utilisateur.

La Kinect est un capteur du commerce low-cost. Il est très facile de se l'approprier et de l'utiliser pour le développement dans le cadre de recherches et de ses applications. Notre outil logiciel *KinectLab* permet le formatage des données émises par la Kinect et peut s'adapter un large panel d'utilisateurs valide tout comme utilisateurs en situation de handicap. Des travaux supplémentaires seraient utiles pour analyser la finesse de cette étude pour différencier des zones

VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Pour conclure, nous avons proposé une méthodologie de conception permettant l'enchaînement de la caractérisation des spécificités motrices vers la conception d'interfaces personnalisées. Des outils adaptés aux situations d'usages ont été intégrés dans ce processus de conception pour faciliter les étapes de conception. Cette étude a donc permis de mieux intégrer les utilisateurs en situation de handicap et leurs facteurs humains dans un processus de conception. Elle a permis de mieux définir les facultés physiques des usagers en situation de handicap pour concevoir des produits adaptées à leurs performances motrices. Les perspectives de travail reposent sur l'application de notre processus CARACTH dans un projet de conception pour faciliter la pratique de la musique

acoustique aux utilisateurs en situation de handicap. De plus, Un projet collaboratif est en cours avec l'association AE2M (Adaptation Ergonomique du Matériel Musicale) pour appliquer ce processus de conception avec d'avantages utilisateurs potentiels. Ce projet permettra en plus une évaluation de l'acceptabilité de nos interfaces personnalisables et du capteur Kinect, pour une utilisation en concert.

REFERENCES

- [1] Joseph Bacou, Analyse biomécanique pour la compréhension et l'amélioration du fauteuil roulant dans son application au tennis de haut niveau, Thèse, 2012
- [2] E. Colle, S. Delarue, et P. Hoppenot, « Conception d'une aide technique complexe et innovante : Application au projet ARPH », *Sciences et Technologies pour le Handicap*, vol. 1, p. 71-94, juill. 2007
- [3] Alain Pruski, A unified approach to accessibility for a person in a wheelchair, Robotics and Autonomous Systems, Volume 58, Issue 11, 30 November 2010, Pages 1177-1184
- [4] ISO 9241-210.: International Organization for Standardization. Ergonomics of human-system interaction -- Part 210: Human-centred design for interactive systems, 2010
- [5] Ma, Min-Yuan and Wu, Fong-Gong and Chang, Ro-Han, A new design approach of user-centered design on a personal assistive bathing device for hemiplegia, in Disability and Rehabilitation, Vol 29, Number 14, p 1077-1089, 2007
- [6] Andreas Holzinger. User-Centered Interface Design for Disabled and Elderly People: First Experiences with Designing a Patient Communication System (PACOSY). In Proceedings of the 8th International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP '02), UK, UK, 33-40.
- [7] Jacob O. Wobbrock, Shaun K. Kane, Krzysztof Z. Gajos, Susumu Harada, and Jon Froehlich. 2011. Ability-Based Design: Concept, Principles and Examples. ACM Trans. Access. Comput. 3, 3, Article 9 April 2011
- [8] Reswick, J. What is rehabilitation engineering? in Annual Review of Rehabilitation, Vol. 2, 1982
- [9] Martin J., Murphy E.A., Crowe J.A., Norris B. Capturing User Requirements in Medical Device Development: The Role of Ergonomics. In Physiological Measurement, 27(8): 49-62, 2006
- [10] Poulson D., Ashby M., Richardson S. USERfit: A practical handbook on user-centred design for rehabilitation and assistive technology. HUSAT Research Institute for the European Commission, 1996
- [11] Ross A. Clark, Yong-Hao Pua, Karine Fortin, Callan Ritchie, Kate E. Webster, Linda Denehy, Adam L. Bryant, Validity of the Microsoft Kinect for assessment of postural control, in Gait & Posture, Volume 36, Issue 3, July 2012, Pages 372-377
- [12] Tilak Dutta, Evaluation of the Kinect sensor for 3-D kinematic measurement in the workplace, in Applied Ergonomics, Volume 43, Issue 4, July 2012, Pages 645-649
- [13] Petr Horejsi, Tomas Gerner, Ondrej Kurkin, Patrik Polasek, Martin Januska, Using Kinect Technology Equipment For Ergonomics, in Modern Machinery (MM) Science Journal, March 2013
- [14] Mündermann L, Corazza S, Andriacchi TP., The evolution of methods for the capture of human movement leading to markerless motion capture for biomechanical applications, In Journal of Neuroengineering and Rehabilitation, Volume 3, March 2006
- [15] Ondrej Polacek, Martin Klima, Adam J. Sporka, Pavel Zak, Michal Hradis, Pavel Zemcik, and Vaclav Prochazka. 2012. A comparative study on distant free-hand pointing. In Proceedings of the 10th European conference on Interactive tv and video (EuroITV '12). ACM, New York, NY, USA, 139-142
- [16] Schiro J., Gabrielli F., Pudlo P. (2013). Etude du positionnement des mains sur le volant pour les conducteurs jeunes, âgés et pathologiques. Colloque Jeunes Chercheurs Jeunes Chercheuses, Handicap, Vieillesse, Indépendance, Technologies, Université de Paris 8, juin.
- [17] S. Hart et L. Stavenland, « Development of {NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research », in Human Mental Workload, Elsevier, 1988, p. 139-183