

La pratique musicale pour les personnes en situation de Handicap : processus de conception basé sur la modularité

Guillaume Thomann, Julien Veytizou, Jacques Cordier

► To cite this version:

Guillaume Thomann, Julien Veytizou, Jacques Cordier. La pratique musicale pour les personnes en situation de Handicap : processus de conception basé sur la modularité. InnovatiO - La revue pluridisciplinaire en innovation, SFR Innovacs, 2018, <<http://webdsi2.upmf-grenoble.fr/lodel/lodel-1.0.1a/innovatio/index.php?id=475>>. <hal-01925894>

HAL Id: hal-01925894

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01925894>

Submitted on 18 Nov 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La pratique musicale pour les personnes en situation de Handicap :

processus de conception basé sur la modularité

Guillaume Thomann^{1,2*}, Julien Veytizou^{1,2}, Jacques Cordier³

¹ Laboratoire des Sciences pour la Conception, l'Optimisation et la Production de Grenoble (G-SCOP), Université de Grenoble Alpes, Grenoble, France,

² CNRS, G-SCOP, Grenoble, France

³ Conservatoire à Rayonnement Régional de Grenoble (CRR), 6 chemin de Gordes, 38100 Grenoble

Guillaume Thomann

Laboratoire G-SCOP (UGA, Grenoble INP)

46 avenue Félix Viallet

38031 Grenoble Cedex1

guillaume.thomann@grenoble-inp.fr

Guillaume Thomann

Il est titulaire d'un doctorat en robotique chirurgicale de l'INSA de Lyon obtenu en 2003, il a effectué ensuite un travail de 6 mois en région parisienne sur la conception d'orthèses de membre supérieur. Il est enseignant-chercheur à l'Institut polytechnique de Grenoble depuis 2005, enseignant en école d'ingénieur dans les domaines de la conception mécanique. Ses activités de recherche sont orientées autour de méthodes et outils de conception de systèmes dans les domaines de la santé et du handicap, avec des réalisations concrètes de systèmes dans le domaine musical et de la rééducation motrice.

Julien Veytizou

Il est titulaire d'un Master recherche en ingénierie des systèmes Humain-Machine obtenu en 2011 et d'une thèse de doctorat (2014) dont le travail portait sur les « Caractérisations des spécificités motrices d'utilisateurs en situation de handicap – Application à la conception de systèmes personnalisables pour la pratique musicale ». Il est actuellement responsable Produit Process Electronique dans une entreprise qui conçoit, fabrique et commercialise des solutions techniques innovantes pour le travail de la terre.

Jacques Cordier

Jacques Cordier est un musicien enseignant chargé de projets musique et handicap au conservatoire de Grenoble. Il est coordinateur et conseiller technique du projet de recherche AE2M dont il est à l'origine (adaptation ergonomique du matériel musical). Il s'investit depuis 13 ans pour la cause du handicap dans le cadre du conservatoire et s'y consacre à plein temps depuis 4 ans. Il a développé un ensemble d'ateliers musicaux qui donne lieu à des projets de concerts et spectacles associant des artistes handicapés et valides (y compris des enseignants). Il est responsable d'un module de formation musique et handicap en direction des élèves en cycle professionnel et il intervient régulièrement en tant que formateur auprès des enseignants.

Résumé :

Les activités culturelles et artistiques dans les centres et instituts d'éducation motrice participent au développement intellectuel et de coordination motrice de la personne, à son insertion sociale et sa motivation quotidienne à apprendre et à participer aux activités de groupe. Lors d'activités musicales instrumentales, il est malheureusement trop fréquent d'observer la non-accessibilité des instruments de musique par les enfants atteints de lourds handicaps moteurs.

Faisant le constat qu'une diversité de déterminants médicaux et socio-environnementaux fait partie de la situation de handicap de la personne, il est proposé d'extraire les éléments constitutifs de la situation de handicap à prendre en considération dans les projets de conception pour proposer un processus de conception modulaire permettant le développement des aides techniques personnalisées. Un modèle générique d'un processus de conception adapté auquel a été ajoutée une étape pour la caractérisation de spécificités motrices des utilisateurs est construit. Une représentation de l'Interaction Homme Machine dans le contexte du handicap et de la musique mais aussi une architecture produit modulaire sont proposées. Elles sont mise en œuvre pour la conception de deux prototypes permettant la pratique de la musique sur des instruments de percussion.

Ainsi, cet article amène une réflexion et une proposition sur une méthode de conception d'aides techniques pour la pratique musicale. Il concerne la conception de systèmes personnalisables basée sur la méthode de produits modulaires qui permet la personnalisation de l'interface utilisateur et de toute la chaîne de contrôle-commande allant vers l'instrument de musique.

Abstract:

Cultural and artistic activities in motor education centers and institutes participate in the intellectual development and motor co-ordination of the people, his social integration and his daily motivation to learn and participate in group activities. During instrumental musical activities, the non-accessibility to musical instruments by children with severe motor disabilities is frequently observed.

Diversity of medical and socio-environmental determinants is part of the situation of disability of the person. It is proposed to extract the constitutive elements of the disability situation to be taken into consideration in design projects. A generic model of a design process adapted to the context of the design of technical aids to which was added a step for the characterization of the users' motor specificities is detailed. A representation of the Human Machine Interaction in the context of disability and music but also a modular product architecture are proposed. They are applied for the design of two prototypes allowing the practice of music on percussion instruments.

Thus, this article leads to a reflection and a proposal on a method of designing technical aids for musical practice. It concerns the design of customizable systems based on the modular product method which allows customization of the user interface and the complete control of the process going to the musical instrument.

Mots clés :

Méthodologie de conception, Personnes en situation de Handicap, pratique musicale, processus de conception, interface musicale

Keywords :

Design Methodology, Disabled people, musical practice, Design Process, Musical Interface

Introduction

La loi du 11 février 2005 a suscité un ensemble de débats sur la notion du handicap. Longtemps synonyme de déficiences, elle prend aujourd'hui en compte les facteurs environnementaux de l'individu dans une situation de vie, autant matériels que sociaux. On parle aujourd'hui non plus de personnes handicapées, mais bien de personnes en situation de handicap. Agir sur l'environnement de ces personnes peut conduire à améliorer cette situation. Dans ce contexte, l'association AE2M (Adaptation Ergonomique du Matériel Musical) œuvre pour permettre la pratique d'instruments de musique pour des personnes en situation de handicap. Elle cherche également à développer des méthodes de conception d'aides techniques pour faciliter cette pratique. Le manque d'équipements personnels et de structures organisationnelles sont des freins à cette activité. La pratique de la musique demande une performance physique de la part du musicien parfois incompatible avec la situation de handicap de la personne. Cette pratique nécessite ainsi une performance importante du matériel d'adaptation, qui devient de plus en plus spécialisé en fonction de la typologie de handicap. Cette recherche d'amélioration des performances des aides techniques pour la pratique musicale sous-tend fortement les activités de recherches proposées dans cet article.

Cet article rend compte des grandes étapes ayant permis de proposer un processus de conception d'interface personnalisée pour la pratique musicale pour des personnes en situation de handicap (PSH). Ce processus est basé sur l'établissement du modèle IPP (Individu – Produit – Participation) qui est établi à partir de trois fondements scientifiques : les éléments constitutifs de la situation de handicap, le processus de conception centré utilisateur et des principes de la conception modulaire. Il a été baptisé CARACTH et est constitué de cinq étapes détaillées en huit sous-étapes. Il a comme objectif principal d'accompagner l'équipe de conception vers la proposition d'un système modulaire personnalisable.

Dans ce contexte, un processus de conception original d'aides techniques, basé en particulier sur la caractérisation des spécificités motrices d'utilisateurs en situation de handicap est développé. Il est proposé ici pour la conception d'aides techniques permettant la pratique musicale, mais il permet d'accéder à un domaine de conception bien plus large. Ce processus permet d'aboutir à un ensemble de conseils et de préconisations sur la conception d'un système adapté à l'utilisateur musicien. Ces systèmes sont utilisés régulièrement lors de concerts.

1. Fondements scientifiques et organisationnels

1.1. Les éléments constitutifs de la situation de handicap

Une classification n'est pas un classement mais une réflexion sur des concepts ou des mots. C'est l'objectif de la Classification Internationale du Handicap (CIH) élaborée par Philippe Wood dans les années 1970. En effet, sa conception a été entourée de réflexions pour : « *considérer le handicap comme la conséquence d'une maladie (ou d'un accident) au lieu de l'assimiler à sa cause* » (Delcey, M., (2002)). La CIH est « *un manuel de classification des conséquences des maladies* » (Chapireau, F., (2001)). Elle est déclinée en 3 niveaux : les déficiences, les incapacités et les désavantages. Ces termes représentent les éléments constitutifs de la situation de handicap de l'individu

Bien que la France soit l'un des pays qui a le plus intégré cette classification dans ses textes réglementaires (Colvez, A., Chapireau, F., (1998)), la CIH présente des limites. Avec l'introduction de l'élément « désavantage », cette classification semble être un modèle médico-social. Cependant, le modèle médical reste omniprésent (Barral, C., (1999), Ravau, J-F., (1999), Roussel, P., (1999)) :

- seule la maladie est la cause du handicap ;
- les niveaux qui décrivent le handicap sont fortement liés à l'individu ;
- les éléments qui prennent en considération le désavantage sont très peu développés par rapport aux descriptions dédiées à la déficience ;
- les références à l'environnement de l'individu sont généralement absentes.

Pour répondre aux limites et aux critiques de la CIH, un processus de révision fut lancé par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé). Ces évolutions ont impliqué la participation de très nombreux centres de recherche et d'experts, mais aussi d'associations de personnes souffrant de handicap (Chapireau, F., (2002)). La CIH fut alors rebaptisée en 2001 la CIF (Classification Internationale du Fonctionnement, du handicap et de la santé) (OMS, (2001)). Au lieu d'être présentée comme un manuel de classifications des conséquences de la maladie (CIH), les réflexions ont amené à l'utilisation de termes de « composantes de la santé » représentant les éléments constitutifs de la situation de handicap de l'individu : problèmes de santé, fonctions organiques et anatomiques, activités, participation, facteurs environnementaux. Les définitions de ces composantes sont les suivantes (Chapireau, F. , (2001), OMS, (2001)) :

- les problèmes de santé font références aux maladies, traumatismes ou troubles ;
- les fonctions organiques désignent les fonctions physiologiques des systèmes organiques (y compris les fonctions psychologiques) ;
- les structures anatomiques désignent les parties anatomiques du corps telles que les organes, les membres et leurs composantes ;
- une activité désigne l'exécution d'une tâche par une personne ;
- la participation désigne l'implication d'une personne dans une situation de vie réelle ;
- les facteurs environnementaux désignent l'environnement physique, social et attitudinal dans lequel les gens vivent et mènent leur vie.

Le RIPPH (Réseau International du Processus de Production du Handicap) est un organisme qui visait l'amélioration de la CIH par le biais de la recherche et d'experts québécois. Après plusieurs années, les travaux de recherche dirigés par Patrick Fougéyrollas ont permis de publier en 1998 une nouvelle classification : le Processus de Production du Handicap (PPH). Les réflexions apportées sur cette classification ont amené à la proposition d'un modèle basé sur « *un modèle anthropologique de développement applicable à tout être humain* » (Fougéyrollas, P., (1998)). La situation de handicap réside d'une réduction de la réalisation des habitudes de vie, résultant de l'interaction entre différents facteurs contextuels (Delcey, M., (2002)).

Dans le PPH, les éléments constitutifs de la situation de handicap sont : les facteurs de risques, les facteurs personnels, les facteurs environnementaux et les habitudes de vie. Leurs définitions sont les suivantes (Fougéyrollas, P., (1998)) :

- un facteur de risque est un élément appartenant à l'individu ou provenant de l'environnement susceptible de provoquer une maladie, un traumatisme ou toute autre atteinte à l'intégrité ou au développement de la personne ;
- un facteur personnel est une caractéristique appartenant à la personne, telle que l'âge, le sexe, l'identité socioculturelle, les systèmes organiques, les aptitudes, etc. ;
- un facteur environnemental est une dimension sociale ou physique qui détermine l'organisation et le contexte d'une société ;
- une habitude de vie est une activité courante ou un rôle social valorisé par la personne ou son contexte socioculturel selon ses caractéristiques (âge, sexe, l'identité, etc.). Elle assure la survie et l'épanouissement d'une personne tout au long de son existence.

Les trois axes d'interaction centrés sur la notion de situation de handicap de la CIF et du PPH n'intègrent pas le ressenti de l'individu (Jaudoin, D., al., (2008)). Claude Hamonet a élaboré le

Système d'Identification et de Mesures du Handicap (SIMH) en y intégrant cette variable de « subjectivité ». Il a été conçu pour évaluer les éléments constitutifs de la situation de handicap et particulièrement comme un outil d'expertise pour l'identification des dommages corporels des individus (Delcey, M., (2002)).

Ornella Plos propose une liste non-exhaustive des principaux facteurs à prendre en compte pour comprendre et évaluer la situation de handicap (Plos, O., (2011)). Elle propose de coupler la représentation conceptuelle de la situation de handicap du PPH avec des modèles systémiques de l'être humain (Figure 1) comme le modèle de Rendement Occupationnel (RO) (Reed, K. L., Sanderson, S. N., (1999)) et le modèle de l'Occupation Humaine (OH) (Kielhofner, G., (2008)).

Figure 1. Schéma de synthèse du modèle systémique du développement humain (Plos, O., (2011))

Ces éléments définissant en grande partie les notions actuelles de la situation de handicap seront repris pour proposer une représentation de la situation de l'utilisateur en début de processus de conception de produit. Cette représentation fera l'objet de la seconde partie de ce document.

1.2. La conception centrée utilisateur

Cette sous-partie bibliographique permet d'identifier les phases importantes de la méthode de conception centrée utilisateur (CCU) car c'est de cette représentation que sera ensuite proposé le processus de conception d'interfaces personnalisées. Intégrer et impliquer l'utilisateur en situation de handicap dans le processus de conception a été étudié avec la méthodologie CCU. Définie par sa norme ISO 9241-210 (ISO, (2010)), la méthodologie CCU propose des points techniques que le projet de conception doit prendre en compte (Colle, E., al., (2007), ISO, (2010), Maguire, M., (2001)) :

- 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
- l'intervention d'une équipe multidisciplinaire.

Une fois que la nécessité de développer un système, un produit ou un service a été identifiée et qu'il a été décidé d'utiliser un développement centré sur l'utilisateur, la norme ISO 9241-210 définit quatre activités liées à la CCU (Figure 2) (Colle, E., al., (2007), ISO, (2010), Maguire, M., (2001)).

Figure 2. Le processus de conception centrée utilisateur ISO, (2010)

La première étape « Comprendre et spécifier le contexte d'utilisation » doit inclure les utilisateurs et les parties prenantes du projet de conception (identification des groupes utilisateurs et leur relation), leurs caractéristiques (connaissances, compétences, expériences, habitudes, aptitudes...), les objectifs et les tâches utilisateurs, ainsi que le ou les environnements d'utilisation du système (physique, social, culturel, technique...).

La deuxième étape « Spécifier les exigences utilisateur » doit inclure le contexte d'utilisation, les exigences issues des besoins utilisateurs, les exigences issues des objectifs d'utilisabilité ainsi que les exigences en matière d'organisation.

La troisième étape « Produire des solutions de conception satisfaisant aux exigences utilisateur » définit les objectifs ainsi que les limites lors du développement des conceptions.

La quatrième étape « Evaluer les conceptions par rapport aux exigences » doit inclure la planification de l'évaluation de sorte qu'elle soit adaptée au planning du projet de conception, la planification des essais pour fournir des résultats exhaustifs, l'analyse des résultats ainsi que

leur hiérarchisation par ordre de priorité. Après ces évaluations, le concepteur propose une nouvelle solution de conception tant qu'elle ne répond pas aux exigences de l'utilisateur dans son environnement d'utilisation.

Cette approche centrée utilisateur a été appliquée dans divers projets de conception de matériel d'assistance comme les systèmes de communication (Holzinger, A., (2002), Menzies, R., al., (2013)), les interfaces Web accessibles (Laux, L., al., (1996), Taylor, H., al., (2011)), les interfaces cerveau machine (Holz, E., al., (2013), (Schreuder, M., al., (2013), Zickler, C., al., (2013)), les robots d'assistances (Colle, E., al., (2007), Lu, E., al., (2011), Robins, B., al., (2010)), les fauteuils roulants (Ronnback, S., al., (2006), Vanhooydonck, D., al., (2010)), les produits liés à la santé (Das, A., Svanaes, D., (2013), Lerouge, C., al., (2013), Teixeira, L., al., (2012)) ou les systèmes pour la rééducation (Lange, B., al., (2010)). Dans ces études, la conception de produits centrée utilisateur a permis de faciliter la compréhension des exigences des produits, de rendre le produit plus intuitif pour l'utilisateur. De même, cette approche a permis d'améliorer la facilité d'utilisation, la satisfaction de l'utilisateur, la communication ainsi que les interactions entre les parties prenantes des projets de conception et la performance de l'utilisateur. Malgré cela, ces travaux ne proposent pas de méthodologies pour adapter les produits aux capacités et aux aptitudes motrices des utilisateurs.

D'autres auteurs proposent d'appliquer cette approche centrée utilisateur pour la conception d'instruments de musique. Ils proposent de combiner avec l'ingénierie de produit des méthodes comme l'analyse sensorielle, dans l'objectif d'optimiser le produit aux perceptions sensorielles et aux préférences des utilisateurs (Petiot, J-F., Poirson, E., (2005), Poirson, E., al., (2007)).

1.3. L'Interdisciplinarité

La cohésion d'une équipe interdisciplinaire de compétences permet actuellement de proposer quelques prototypes de systèmes d'adaptation ergonomique de matériel musical à tout individu, association ou entité désirant en acquérir. Les interactions autour de l'association AE2M sont représentées sous la forme d'un triangle de compétences Paramédicale / Musicale / Ingénierie (Figure 3). Pour une meilleure compréhension de cette représentation, quelques-uns des rôles de ces spécialistes sont présentés sur cette figure. Les ingénieurs doivent être familiers avec les propriétés des instruments de musique sur lesquels les futurs utilisateurs souhaitent jouer. Ils consultent donc les spécialistes musiciens de ce projet. Les ingénieurs ont besoin de discuter avec les spécialistes du paramédical qui travaillent au quotidien avec les utilisateurs en situation de handicap. Par exemple, ils ont une bonne connaissance des spécificités physiques des futurs utilisateurs.

Figure 3. Triangle de compétences proposé par l'Association AE2M.

1.4. La conception modulaire

La conception modulaire est définie comme « une méthodologie de conception qui vise à développer une architecture produit composée de différents sous-systèmes » (Gu, P., Sosale, S., (1999), Hashemian, M., (2005), Ulrich, K., (1994)). Selon Huang et Husiak, le terme modulaire est utilisé pour décrire « l'utilisation d'unités communes pour créer des variantes de produits [...] visant à l'identification d'unités indépendantes, standardisées ou interchangeables pour satisfaire une multitude de fonctions » (Huang, C-C., Kusiak, A., (1998)).

L'objectif de cette approche de conception est de générer des produits qui se caractérisent par un ensemble d'unités appelées modules et interfaces. Un module représente un ensemble de composants réalisant une fonction. Cette fonction permet de satisfaire à un ensemble de besoins. Différentes catégories de modules sont identifiées dans la littérature : basique, auxiliaire, adaptatif, spécifique et non-module (Pahl, G., al., (1996), Plos, O., (2011)). Un module basique

implémente une ou plusieurs fonctions principales du produit ou de la famille de produits. Un module auxiliaire implémente une ou plusieurs fonctions auxiliaires qui sont utilisées en association avec les fonctions principales. Un module adaptatif regroupe les fonctions relatives à l'adaptation du produit ou d'une partie du produit à d'autres systèmes et permet de gérer les contraintes imprévisibles. Un module spécifique regroupe les sous-fonctions relatives à des tâches spécifiques non mises en œuvre par les fonctions principales. Un non-module implémente des fonctions de personnalisation correspondant aux besoins spécifiques des clients sans être forcément partagées avec d'autres produits.

Ces fondements scientifiques posent les bases pour réfléchir à une proposition de processus de conception pour les PSH. Le point de départ de ce processus consiste en la connaissance de l'utilisateur dans sa situation de handicap.

2. Eléments constitutifs de la situation de handicap pour notre modèle

Par l'intermédiaire des quatre classifications, la CIH, la CIF, le PPH et le SIMH, et du modèle systémique du développement humain d'Ornella Plos, diverses façons d'appréhender le handicap ont été vues. Ces quelques fondements scientifiques identifiés permettent d'extraire les éléments constitutifs de la situation de handicap à prendre en considération pour la conception de systèmes adaptés.

2.1. Approche proposée pour la construction du modèle

Le point de vue sur les modèles conceptuels du handicap a permis de décrire les principales contraintes sur les projets de conception proposés. Elles impliquent ainsi d'analyser les tâches de l'utilisateur lorsqu'il manipule un produit mais aussi de connaître le contexte d'utilisation. Ainsi, il est souhaitable de représenter un modèle intégrant les éléments constitutifs de la situation de handicap de la manière suivante : l'individu exerce une activité (exécution d'une tâche) grâce à un produit (adapté à son contexte), pour participer à une situation de vie. Il est proposé de construire ce modèle autour :

- des éléments constitutifs de la situation de handicap présents dans les quatre classifications (CIH, CIF, PPH, SIMH). Cette comparaison permettra d'obtenir les éléments à prendre en considération pour le bon déroulement de l'application du processus de conception ;
- de la structure proposée par Ornella Plos pour classer les éléments constitutifs de la situation de handicap (les facteurs personnels, les facteurs environnementaux et les habitudes de vie). Comme expliqué précédemment, cette structure permet une identification très positive de la situation de handicap et une compréhension « *directe* » des éléments qui la constituent ;
- d'un axe Individu – Produit – Participation (IPP) dans lequel sont représentés les éléments constitutifs de la situation du handicap. Cet axe permet de représenter le produit entre son utilisateur (Individu) et la société (Participation).

2.2. Le modèle IPP (Individu – Produit – Participation)

La Figure 4 présente le modèle IPP, intégrant les éléments constitutifs de la situation de handicap autour d'un axe IPP : Individu – Produit – Participation.

Figure 4. Le modèle IPP : Individu – Produit - Participation

L'axe IPP met en avant l'interaction entre l'individu et le produit par l'exécution de tâches. Ces dernières sont réalisées dans un environnement et un contexte propre à chaque individu. Autour de cet axe IPP, la structure des éléments constitutifs de la situation de handicap d'Ornella Plos est intégrée:

- les facteurs personnels sur l'axe secondaire Individu – Produit,
- les habitudes de vie sur l'axe secondaire Produit – Participation
- et les facteurs environnementaux englobant l'ensemble.

La comparaison des 4 classifications (CIH, CIF, PPH et SIMH), offre de nombreux éléments en commun. Ils sont classifiés en fonction des rubriques décrites dans le Tableau 1.

Tableau 1. Comparatif (CIH, CIF, PPH et SIMH) des éléments constitutifs de la situation de handicap

Grâce à ce tableau, il est possible de sélectionner les éléments à prendre en considération et de les classer par rubriques. Il est important de sélectionner des termes marqués d'une signification positive pour l'individu. De plus, des solutions technologiques sont proposées prioritairement aux solutions biologiques ou génétiques. Dans le modèle IPP, il est ainsi choisi de ne pas intégrer les terminologies marquées d'une signification péjorative comme déficiences, incapacités, désavantages social, limites fonctionnelles, obstacles dans les situations de vie, mais aussi les terminologies décrivant les causes de la maladie comme problème de santé et facteurs de risques.

Parmi les facteurs personnels, « *caractéristiques appartenant à la personne* » (définition du PPH) les éléments suivants ont été sélectionnés :

- le corps comme « *tous les aspects biologiques du corps humain, avec ses particularités morphologiques, anatomiques, histologiques, physiologiques et génétiques* » (définition du SIMH). Cette définition intègre les fonctions organiques et structures anatomiques du CIF et les systèmes organiques du PPH. Cet élément représente les conséquences de la maladie sur le corps de l'individu ;
- les capacités comme « *les fonctions physiques et mentales (actuelles ou potentielles) de l'être humain, compte tenu de son âge et de son sexe, indépendamment de l'environnement où il se trouve* » (définition du SIMH). Il est important de dissocier cet élément des activités exercées par l'individu. Les capacités représentent les caractéristiques ou spécificités physiques individuelles de la personne qui sont indépendantes des tâches à réaliser par l'individu sur un produit ;
- les aptitudes comme « *la possibilité pour une personne d'accomplir une activité physique ou mentale* » (définition du PPH). Cet élément est le prolongement de la définition des capacités. Une aptitude est ainsi définie comme un ensemble de capacités (comme les spécificités motrices) de l'individu pour exécuter une tâche sur un produit ou exercer une activité ;
- la subjectivité comme « *le point de vue de la personne, incluant son histoire personnelle, sur son état de santé et son statut social* » (définition du SIMH). Cet élément a toute son importance dans le modèle pour obtenir un retour sur l'utilisabilité du produit dans une situation de vie quotidienne. Dans notre contexte, les situations de vie quotidienne sont la pratique musicale instrumentale.

Parmi les habitudes de vie assurant « *la survie et l'épanouissement d'une personne tout au long de son existence* » (définition du PPH), les éléments suivants ont été sélectionnés :

- les activités qui désignent « *l'exécution d'une tâche par une personne* » (définition du PPH). Cet élément est positionné comme un chevauchement de facteurs personnel et d'habitudes de vie. L'activité est exercée par une personne dans sa situation de vie. Dans

ce travail de recherche, les systèmes conçus permettront d'exercer une activité musicale ;

- les rôles sociaux qui concernent les structures sociales et culturelles entourant l'individu. Cet élément permet de définir l'usage du produit dans la situation de vie mais aussi si des moyens humains sont nécessaires pour manipuler le produit (installation du matériel par une tierce personne par exemple).

Enfin, le découpage spatial défini par Ornella Plos a été conservé pour décrire les facteurs environnementaux « *dimension sociale ou physique qui détermine l'organisation et le contexte d'une société* » (définition du PPH : macro environnement, méso environnement, micro environnement).

Ce modèle IPP positionne le produit comme la résultante d'une bonne intégration de l'ensemble des éléments constitutifs de la situation de handicap dans les projets de conception. L'ignorance ou l'incompréhension d'un des éléments peut engendrer une utilisabilité du produit difficile pour l'utilisateur ou encore une mauvaise intégration du produit dans son contexte d'usage. Étant donnée l'importance de ces éléments pour la conception des aides techniques, ce modèle sera utilisé comme support pour la suite de ce manuscrit. La Figure 5 résume la façon dont ce modèle a été construit.

Figure 5. La construction du modèle des éléments constitutifs de la situation de handicap

3. Proposition d'un processus de conception

3.1. L'IPP dans la Conception Centrée Utilisateur

Une méthode générique de processus de conception adaptée au contexte de la conception d'aides techniques pour personnes en situation de handicap est développée. Cette méthode CARACTH est inspirée de la CCU à laquelle il est proposé (voir Figure 6) :

- d'intégrer le modèle IPP autour des étapes de conception
- d'insérer une étape de caractérisation des spécificités motrices des utilisateurs
- d'insérer une étape pour la définition d'une architecture produit modulaire
- de simplifier les phases d'itérations à l'intérieur du processus de conception

Figure 6. Le positionnement de la caractérisation des spécificités motrices et du modèle IPP à l'intérieur du cycle CCU

Le modèle IPP positionne le contexte du produit comme la conséquence d'une bonne insertion de l'ensemble des éléments constitutifs de la situation de handicap dans un projet de conception. Son analyse peut révéler des besoins, des problèmes et des contraintes auxquels le contexte du futur produit devra satisfaire. Il sert ainsi de support pour assurer le succès des étapes du processus de conception CARACTH. La caractérisation des spécificités motrices débute après avoir spécifié les exigences liées à l'utilisateur. Cette étape permet de définir les aptitudes de l'utilisateur pour le concepteur, dans l'objectif de fournir des solutions de conception mieux ajustées aux capacités de l'utilisateur. Des activités d'analyses et de modélisation des aptitudes motrices sont proposées dans le but de fournir des informations utiles pour la suite du processus CCU : produire des solutions de conception. Il est postulé que les produits à concevoir doivent suivre une architecture produit modulaire en vue de combiner les avantages de la CCU et de la conception modulaire dans le processus de conception. La norme ISO 9241-210 propose d'effectuer des itérations de conception sur l'ensemble des étapes de la CCU. En fonction de la complexité d'une re-conception des systèmes après l'évaluation par les utilisateurs, ces phases d'itération peuvent demander des moyens financiers et du temps non compatibles avec le projet

de conception. Il est proposé d'effectuer ces itérations seulement entre deux étapes de la CCU : proposer des solutions de conception et évaluation des conceptions. L'intégration du modèle IPP, de la caractérisation des spécificités motrices et d'une architecture produit modulaire à l'intérieur du cycle de la CCU pourrait permettre ainsi de simplifier les phases d'itérations sur le processus de conception CARACTH. Deux exemples illustreront l'application de ce processus de conception CARACTH à la fin de cet article.

3.2. Les étapes du processus de conception CARACTH

Le processus de conception CARACTH se décline en cinq étapes centrées sur l'utilisateur (Figure 7). Elles fournissent une approche pour les concepteurs facilitant l'enchaînement de la caractérisation des spécificités motrices vers la conception de systèmes personnalisables.

Figure 7. Le cycle du processus de conception CARACTH

Certaines d'entre elles sont décomposées en sous-étapes. L'étape de caractérisation des spécificités motrices est divisée en trois sous-étapes (voir 3.1 à 3.3 sur la Figure 7). L'étape de proposition de solution de conception est divisée de deux sous-étapes (voir 4.1 et 4.2 sur la Figure 7).

Le modèle est représenté schématiquement par une combinaison d'un processus linéaire (étapes 1 à sous-étape 4.1) suivi de deux étapes clés permettant de proposer des solutions de conception et de les évaluer au regard des exigences des utilisateurs (sous-étape 4.2 et étape 5). La proposition est donc de réaliser la totalité du processus dans un temps relativement court (quelques semaines) en apportant un maximum d'attention à l'étape 3 (pour établir un modèle de l'utilisateur). C'est l'architecture modulaire choisie dans la phase de conception qui doit permettre la personnalisation du produit à l'instant *t* et son amélioration continue en cours d'usage.

L'aspect visuel très séquentiel de ce processus le rend assez rigide au premier abord. Il constitue effectivement un guide permettant aux équipes de conception interdisciplinaires de travailler progressivement sur les différentes étapes proposées. Par contre, il n'exclut évidemment pas une certaine flexibilité aux acteurs de ce processus.

3.2.1. Comprendre et spécifier le contexte d'utilisation (étape 1)

L'ensemble des facteurs entourant l'utilisateur définissent le contexte dans lequel le produit sera utilisé. Il est important d'inclure les utilisateurs ainsi que l'ensemble des parties prenantes au projet de conception. Il peut exister plusieurs « *types* » d'utilisateurs dont les besoins sont importants. Les caractéristiques pertinentes de ces groupes d'utilisateurs doivent être identifiées pour faciliter l'accessibilité du produit final. Tout comme l'approche EMFASIS (Plos, O., al., (2012)), il s'agit d'étendre l'acceptabilité fonctionnelle du produit à plusieurs populations cibles. Les objectifs et les tâches des utilisateurs sont identifiés. Les natures des tâches capables d'influencer sur l'utilisabilité doivent être décrites comme celles habituellement réalisées par l'utilisateur, leurs fréquences et leurs durées d'exécution. Il est important de déterminer les activités potentiellement défavorables proposant une charge de travail excessive. L'analyse des systèmes existants fournit des informations liées au contexte, en matière de performance et de satisfaction.

3.2.2. Spécifier les exigences utilisateur (étape 2)

La définition des environnements d'utilisation procure des dimensions pertinentes à la bonne intégration du produit d'un point de vue physique (par exemple, la prise en compte des

dispositifs de mobilités) et social (par exemple, la structure sociale et culturelle, les moyens humains). Les exigences utilisateur et de son entourage sont définies par rapport au contexte d'utilisation du produit. Il est opportun que ces exigences englobent les objectifs que les utilisateurs doivent atteindre. Les performances d'utilisabilité et les critères de satisfaction sont identifiés. Si nécessaire, l'ensemble de ces spécifications est actualisé tout au long du projet de conception, d'où la nécessité de les énoncer et de les documenter. Si une re-conception du produit est nécessaire, une partie de ces informations est alors déjà disponible.

3.2.3. Spécifier le contexte et les objectifs de la caractérisation (sous-étape 3.1)

Tout comme l'Inclusive Design (Keates, S., al., (2000)), il est proposé de créer une bibliothèque d'outils pour adapter le processus de conception non seulement aux problématiques du handicap mais aussi à la caractérisation des spécificités motrices. Avant tout il est donc important de spécifier dans quel contexte la caractérisation des spécificités motrices s'opère ainsi que les exigences et pertinences portées sur leurs résultats. Les modalités d'intervention du concepteur pour caractériser les spécificités motrices sont définies. Selon le domaine d'action, le contexte peut suggérer des contraintes temporelles, d'organisations internes et environnementales liées aux capacités physiques et cognitives de l'utilisateur. Il convient d'identifier les éléments capables d'influencer le bon déroulement de la caractérisation. Il est nécessaire de décrire les objectifs et les composantes de la caractérisation à partir des tâches spécifiées à l'étape précédente (par exemple, l'amplitude du mouvement de l'épaule pour une tâche de pointage avec la main, la rotation latérale de la tête pour actionner un bouton avec la tempe). A partir du contexte et de ces objectifs, il convient de sélectionner et/ou de développer des méthodes et outils technologiques pour la mesure des capacités motrices. Il est nécessaire de vérifier leur compatibilité avec les environnements d'intervention ainsi que la pertinence des données collectées. Il convient de maintenir une veille des connaissances et des technologies afin d'augmenter la liberté et la capacité d'intervention du concepteur pour la caractérisation, d'où l'importance de créer une bibliothèque d'outils.

3.2.4. Analyser les spécificités motrices (sous-étape 3.2)

La spécification du contexte des activités liées à la caractérisation, ainsi que le choix des méthodes et outils technologiques appropriés, permettent la génération d'un environnement expérimental dédié, dont l'objectif est de réaliser une activité primaire (AP). Cette AP consiste à réaliser une tâche simple par l'utilisateur en prenant en compte l'environnement dans laquelle elle sera réalisée. Les tâches sont logiquement pré-orientées à celles qu'il utilisera à travers l'objet de conception. Il convient de promouvoir une caractérisation sous deux aspects : une caractérisation-mesure pour analyser les capacités motrices des sujets et une caractérisation-valorisation par la proposition d'activités ludiques et motivantes. L'analyse de cette AP permet une collecte des performances motrices de l'utilisateur par le concepteur. Il est opportun de prendre en considération les conditions expérimentales suivantes pour effectuer une caractérisation des spécificités motrices sur le terrain. Les analyses des AP doivent être répétables d'une expérience à une autre et permettent une collecte de données rapides. Le temps passé pour les expérimentations doit être limité. Le matériel utilisé, pour la collection des données physiologiques du sujet, est portatif. Le système de capture de données doit respecter une caractérisation non-invasive et non-intrusive. Harnacher un utilisateur avec des capteurs augmente le temps de préparation des expérimentations. Pour faciliter leur passation, les AP sont associées à : des consignes pour la mise en place de l'activité, la description de la position de départ du sujet, un descriptif de la tâche à accomplir par le sujet, la définition des composantes motrices étudiées. L'ensemble des analyses est stocké dans une base de données pour être exploitée à la suite des activités de la caractérisation des spécificités motrices. A tout

moment, les mesures restent visibles et utilisables par l'équipe de conception. Pour une caractérisation sur le terrain, il est proposé de sauvegarder les données dans une base de données pour qu'elles puissent être exploitables avec les logiciels de calculs sur ordinateur (Scilab, Matlab) ou de tableur (Excel).

3.2.5. Créer un modèle utilisateur (sous-étape 3.3)

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 conception dans le but de créer une interface personnalisable aux capacités physiques de l'utilisateur. A cette étape du processus, les concepteurs ont la possibilité de créer un modèle juste après l'AP ou a posteriori s'ils ont plus de contraintes de temps. Il convient de valider la formulation de ce modèle avec l'ensemble des acteurs du projet de conception. L'ensemble des résultats est stocké, donnant la possibilité au concepteur de les pré-visualiser. Ainsi, ils restent visibles, modifiables et exploitables à tout moment. Les capacités d'exécution de la tâche requise sont extraites après une phase de post-traitement. Lors de cette phase, les logiciels et les méthodes d'exploitation de données sont libres au choix du concepteur.

Un exemple d'AP peut être une action de « peindre un environnement virtuel » à l'aide de sa main. L'utilisateur en situation de handicap effectue cette AP : il se voit sur un écran en train de bouger son membre supérieur et le mouvement de sa main déclenche l'apparition de points épais de couleur. La modélisation de l'écran en une matrice de type densitogramme (Figure 8a) permet l'incrémentation de chaque cellule de la matrice dès le passage de la main (Figure 8b). A partir de cette matrice, il est possible de créer une MapColor qui sera considérée comme étant le *modèle utilisateur* par l'équipe de conception (Figure 8c). Les zones de l'environnement que l'utilisateur aura atteint le plus souvent pourront être considérées comme l'ayant été le plus facilement et naturellement. Elles permettront de définir une première version d'interface personnalisée pour l'utilisateur en situation de handicap (Figure 8d). Cette interface pourra par exemple être utilisée pour déclencher à distance et sans contact des mailloches du système MiniMEMs présenté en section 5.

Figures 8. Modélisation par densitogramme (a), Matrice des pondérations (b), MapColor (c), Solution de conception (d)

3.2.6. Proposer une architecture produit modulaire (sous-étape 4.1)

Pour offrir plus de souplesse et pour répondre plus rapidement à de nouveaux besoins, il est opportun de définir une architecture produit modulaire. Elle ajoutera de la personnalisation au futur système en proposant un module de base agrémenté de modules spécifiques conçus à partir des spécificités motrices de l'utilisateur. Si un même produit est manipulé par un autre utilisateur présentant des capacités motrices différentes et ainsi un autre modèle utilisateur, seuls les modules spécifiques seront à reconcevoir, voire à régler ou auto-ajuster. Le lien entre ces différentes entités s'effectue à l'aide d'interfaces. Elles doivent permettre un montage/démontage simple et rapide, tout en respectant la compatibilité et la cohérence entre les fonctionnalités. L'ensemble du matériel est facilement disponible pour faciliter les phases de maintenance. Cette étape du processus de conceptions sera détaillée dans la quatrième partie en proposant une architecture produit modulaire pour faciliter la conception de systèmes personnalisables pour la pratique musicale.

3.2.7. Proposer une solution de conception (sous-étape 4.2)

A cette étape du processus, il s'agit de concevoir des systèmes satisfaisant aux exigences d'utilisabilité. Avant de proposer une solution de conception, il convient de spécifier l'objet de conception de l'utilisateur. Les concepteurs doivent déterminer la façon dont l'utilisateur accomplit la tâche avec l'objet de conception, plutôt que de décrire comment le système fonctionne. Il convient de définir le support de l'objet à concevoir (mécanique, électronique, graphique, etc.) et la modalité d'interaction (son, visuel, tactile). Les solutions à concevoir peuvent être créées à partir de scénario d'usage, de simulation ou de prototype. L'utilisation du prototypage rapide à cette étape de la conception présente de nombreux avantages comme une communication rapide sur les propositions de conception, la validation d'un assemblage et de la fonctionnalité du produit, ou encore une grande souplesse en réalisant rapidement de multiples solutions de conception. Cette étape du processus de conception CARACTH sera illustrée dans la cinquième partie par la proposition de prototypes permettant la pratique musicale sur des instruments de percussion aux utilisateurs en situation de handicap. 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 en leur offrant la possibilité d'exécuter les tâches à réaliser. Après un retour utilisateur sur l'utilisabilité du produit, le concepteur doit prendre en compte la possibilité de modifier la solution de conception proposée. Cela requiert le contrôle des phases d'itération dans cette étape du processus de conception. La nature des problèmes identifiés ainsi que les modifications de conception adoptées doivent être répertoriées.

3.2.8. Evaluer les solutions de conception (étape 5)

La dernière étape est une évaluation centrée sur l'utilisateur. Elle permet aux concepteurs de vérifier expérimentalement si la configuration de la solution de conception répond aux exigences de l'utilisateur. L'objectif est de fournir un retour rapide sur les avantages et les inconvénients de la proposition de conception à partir du point de vue de l'utilisateur. A cette dernière étape du processus, il convient de définir les éléments à évaluer et les méthodes et moyens appropriés et les critères d'évaluation.

Les utilisateurs réalisent alors expérimentalement les tâches proposées par l'équipe de conception interdisciplinaire. Cette évaluation peut aussi être utilisée pour comparer différentes configuration d'un module de la proposition de conception. Si elle ne répond pas aux exigences utilisateur, les informations collectées lors des évaluations permettent de réorienter la conception. Une nouvelle configuration du module du système sera proposée jusqu'à la satisfaction de l'utilisateur et des parties prenantes du projet de conception. Dans le contexte de travail proposé ici, les solutions de conception seront évaluées sous deux aspects : le premier consiste à évaluer le résultat sonore du système personnalisé à partir des exigences des musiciens du conservatoire de musique. Le deuxième détermine si les objectifs et les performances d'utilisabilité ont été satisfaits dans les contextes d'utilisation prévus.

3.3. Synthèse

La définition et les étapes du processus de conception CARACTH ont été présentées. Cinq étapes de conception sont élaborées pour faciliter l'enchaînement de la caractérisation des spécificités motrices d'un utilisateur vers la conception de systèmes personnalisables. Après une compréhension du contexte d'utilisation du produit et des spécifications des exigences, la caractérisation des spécificités motrices des usagers est exécutée, générant un modèle utilisateur de leurs possibilités gestuelles. Ce modèle, couplé à une architecture produit modulaire, permet ainsi d'ajouter de l'adaptabilité au système à concevoir. Une évaluation centrée utilisateur vérifie la satisfaction de l'utilisateur et l'utilisabilité du produit dans son contexte d'utilisation.

4. Proposition d'une Architecture produit

Cette quatrième partie fournit un ensemble d'éléments pour alimenter l'étape 4.1 (proposer une architecture produit modulaire) du processus de conception CARACTH. Elle présente l'approche permettant de modéliser l'interaction « Sujet en situation de handicap/Instrument de musique ». Une architecture produit modulaire est aussi proposée pour faciliter la conception de systèmes personnalisables pour jouer de la musique. Elle délimite des modularités d'un produit en proposant des parties génériques et des parties spécifiques aux systèmes conçus.

4.1. Modélisation de l'interaction Sujet en situation de handicap/ Instrument de musique

4.1.1. Définition

Avant de proposer une architecture produit modulaire, il convient de spécifier les tâches et les actions d'un sujet, pour jouer de la musique avec un système adapté à ses capacités motrices. L'analyse du rapport Geste/Son est utile pour modéliser cette interaction. Le sujet a une intention musicale. Il exerce des actions sur un objet ou une interface à partir de ses propres possibilités gestuelles. Ces entrées gestuelles (voir Eg sur la Figure 9) sont responsables du premier feedback (voir F1 sur la Figure 9). Le sujet peut percevoir des retours d'information tactiles, kinesthésiques ou visuels liés aux catégories de ses gestes possibles. La forme ou les modalités d'interactions de l'interface sont conçus au regard des capacités motrices du sujet, donnant ainsi naissance au système personnalisable. Il permettra la bonne gestion de la chaîne de communication au niveau du geste musical entre le sujet et le résultat sonore (voir F2 sur la Figure 9).

Figure 9. La modélisation de l'interaction Sujet-Instrument de musique. Eg (Entrées gestuelles), F1 (Feedback primaire), F2 (Feedback secondaire)

L'interaction entre le sujet et le système personnalisable produit des phénomènes (vibration, position d'un membre du corps dans le cas du geste à nu, etc.) qui peuvent être contrôlés par le sujet (amplitude, durée etc.). Ils sont définis à partir de ses possibilités gestuelles. Ces phénomènes vont donc devenir des messages communicationnels pour contrôler un système générant le résultat sonore attendu. Pour la production de sons synthétisés, ces messages communicationnels contrôlent des logiciels musicaux. Pour l'utilisation d'instruments acoustiques, ces messages contrôlent des systèmes électromécaniques placés autour de l'instrument de musique.

4.1.2. Classification des possibilités gestuelles

Pour interpréter et adapter le rapport geste/son avec le contexte du handicap, les fonctions et les typologies du geste instrumental sont repositionnées avec les possibilités gestuelles d'un sujet en situation de handicap.

Selon leurs capacités motrices, il se peut que certaines personnes ne possèdent pas les aptitudes nécessaires pour réaliser certaines fonctions et typologies d'un geste instrumental. Certaines seraient plus à l'aise en appliquant des forces à un objet (fonction ergotique, geste de production, geste d'excitation et geste de modulation) et d'autres en exerçant des gestes à nu, contrôlés ou non, dans leur environnement (fonction sémiotique, gestes accompagnateurs, gestes de communication, geste de sélection). Dans notre contexte, il est postulé que les gestes qui n'ont pas de rapport direct avec l'instrument de musique peuvent devenir des gestes de

production car « *c'est ce que la personne sait faire* ». D'autres gestes comme les gestes facilitant la production du son positionnent le corps du sujet d'une manière favorable par rapport à son interface. Cette fonction est importante pendant un jeu musical. Il convient donc de définir les postures confortables du sujet pour jouer de la musique et pour se reposer après une activité. D'après ces constats, la nécessité d'identifier les possibilités gestuelles des utilisateurs est très importante. Trois niveaux de difficultés sont proposés, fondés sur les typologies du geste instrumental, pour la classification des possibilités gestuelles d'un sujet :

- Niveau facile : c'est le niveau le plus faible en termes de difficulté. Il intègre seulement le geste de sélection. Le sujet se concentre sur « *un choix* » entre divers éléments lors du jeu musical. Par exemple, si une interface graphique est proposée, le sujet choisit d'activer un bouton à la fois pour générer un son. Il n'a pas la possibilité de changer les propriétés ou l'amplitude de l'onde sonore.
- Niveau intermédiaire : c'est le niveau moyen en termes de difficulté. Il intègre le geste de sélection couplé à un geste d'excitation pour faire varier l'énergie que l'on retrouve dans l'onde sonore, ou à un geste de modulation pour modifier les propriétés du son. Deux activités sont demandées au sujet pour réaliser sa tâche. Par exemple, le sujet choisit de taper sur un objet avec un doigt pour générer un son. Il peut changer l'amplitude sonore en faisant varier la force de frappe sur l'objet.
- Niveau expert : c'est le niveau le plus élevé en termes de difficultés. Il intègre les trois typologies du geste instrumental pour réaliser les gestes experts du musicien sur son instrument. Trois activités sont demandées au sujet pour réaliser sa tâche. Par exemple, le sujet possède trois interfaces distinctes pour activer un système électromécanique disposé sur un tambour : la première actionne le système de frappe sur l'instrument, la deuxième régule la vitesse de frappe et la troisième permet d'obtenir un son étouffé.

La modélisation de l'interaction Sujet en situation de handicap/Instrument de musique a permis de positionner le système personnalisable du sujet au sein du processus musical. Un challenge s'établit ainsi sur les possibilités gestuelles d'un sujet et le résultat sonore attendu. Il est nécessaire de garder à l'esprit que la richesse du résultat sonore est en lien étroit avec le niveau de difficulté des tâches à réaliser par le sujet. Lors de la composition d'une œuvre et d'un jeu musical, un compromis persistera entre les capacités motrices d'un sujet et les éventualités sonores. L'utilisation d'une architecture produit modulaire personnalisable au contexte de la musique et du handicap est fort utile pour contourner ces contraintes.

4.2. Une architecture produit modulaire personnalisable

La conception des systèmes adaptés pour la pratique musicale commence par la prise de connaissance des constituants modulaires présents dans l'environnement instrumental. Ceux-ci peuvent fournir un point de départ pour la proposition d'une architecture de produit modulaire. Les éléments flexibles d'un instrument de musique augmenté ont permis leur définition. Pour une meilleure compréhension au regard des concepteurs, ils ont été renommés en utilisant des terminologies issues des systèmes automatisés (voir Figure 10) :

- Le système de détection remplace l'espace de contrôle. Il définit le système personnalisable aux capacités motrices de l'utilisateur. Il transforme des informations issues du monde physique en informations numériques.
- Le système de commande remplace l'espace mapping. Il définit le système personnalisable aux techniques de jeu musical. Les informations sont entièrement numériques grâce aux technologies informatiques.
- Le système opératif remplace l'espace sonore. Il définit le système personnalisable à l'instrument de musique. Il convertit les informations numériques en information

physique destinées à l'environnement du système. Il permet de générer les ondes sonores à partir des logiciels de synthèses sonores ou des instruments de musique.

Figure 10. La correspondance entre un système musical et un système automatisé

4.2.1. Le système de détection

Le système de détection (Figure 11) permet de recueillir des informations. Il est capable de détecter un phénomène physique dans son environnement (déplacement, pression, chaleur, lumière...). La détection et la transformation d'un phénomène dans un environnement instrumental entraînent la création des nouveaux rapports entre les gestes et le son. Un canal de communication est mis en place par lequel les actions de contrôle d'un sujet créent la relation communicationnelle entre ses possibilités gestuelles et le résultat sonore. Ces phénomènes peuvent se mesurer par l'emploi de capteurs pour l'analyse de grandeurs physiques ou de capteurs de mouvement pour la localisation des membres du corps dans un espace scénique. Une fois ces phénomènes mesurés, le système de détection génère en sortie des messages communicationnels qui deviennent des consignes envoyées au système de commande. Généralement, le système de détection et le système de commande sont de natures différentes. Pour que les informations circulent correctement entre ces deux parties, des interfaces sont présentes pour les relier. Elles sont des « *traducteurs de signaux* » générant des messages de contrôles. Ils sont présents pour mettre en forme les informations provenant du contrôleur gestuel en informations reconnues par le système de commande. Le concepteur a le choix parmi une grande variété de technologies pour déterminer la nature de la captation et les propriétés physiques des capteurs associés.

Figure 11. L'architecture du système de détection

4.2.2. Le système de commande

Le système de commande (Figure 12) joue le rôle du « *cerveau* ». Il adresse des messages de commande au système opératif. Dans un environnement instrumental, le système de commande est en charge de la constitution des rapports entre les gestes du sujet et le résultat sonore. Il comprend une dimension logicielle avec des fonctions d'interprétation et de génération de signaux. Un programme informatique gère les échanges d'informations et exécute des instructions en fonction des ordres transmis par le système de détection.

Figure 12. L'architecture du système de commande

Le système de commande permet la programmation des propriétés sonores en fonction des informations de contrôle de l'utilisateur. Il convient que le concepteur propose une interface de commande pour modifier en temps-réel la stratégie de mapping selon les objectifs de conception et les objectifs musicaux. Cette interface ajoute de l'adaptabilité au produit final. Par exemple, elle va permettre de modifier la sensibilité du système de détection ou même de définir les ordres de commandes en fonction du jeu musical défini (commande aléatoire de notes de musique, commande d'une séquence prédéfinie, etc.).

4.2.3. Le système opératif

Dans un environnement instrumental, le système opératif (Figure 13) joue le rôle d'actionneurs pour générer les ondes sonores. Ces actionneurs vont exécuter les messages de commandes reçus. Ils vont agir sur le système sonore et sur son environnement. Ils sont responsables du

feedback secondaire. A ce stade, deux chemins sont possibles : jouer des sons à partir de logiciels de synthèse sonore ou à partir des instruments de musique. Le choix se définit en fonction des besoins musicaux.

Figure 13. L'architecture du système opératif

Le système opératif est capable de produire des sons issus de logiciels de synthèse sonore ou de modules électroniques de synthèse de sons. Pour que les messages de contrôle circulent correctement, des interfaces sont présentes pour relier les systèmes de commande et ces synthétiseurs de sons. A ce stade, il est important de définir le protocole de communication entre ces deux parties. Généralement, les protocoles standards sont le MIDI (Musical Instrument Digital Interface), l'OSC (Open Sound Control), TCP/IP ou même des protocoles plus classiques comme l'USB, simulation d'évènement souris/claviers.

Le système opératif est aussi capable de produire des sons à partir des instruments de musique. Généralement, les technologies issues de la robotique musicale permettent de réaliser cette action. Pour que les messages de contrôle circulent correctement, des interfaces sont présentes pour relier les systèmes de commande et les modules électromécaniques. En effet, la commande d'un tel système demande de fournir une énergie électrique suffisamment puissante pour contrôler des moteurs ou des électroaimants. Ces interfaces généralement électroniques sont des amplificateurs de signaux. La production du son est effectuée à l'aide d'un système électromécanique disposé autour ou sur l'instrument de musique. Il est possible aussi d'utiliser temporairement les logiciels de synthèse sonore pour valider le système de détection, le temps de développer le système opératif pour jouer des sons acoustiques.

Lors de la conception de ces systèmes, il convient de vérifier que les sons maintiennent bien la sonorité et les techniques de jeu d'un instrument de musique originale. Il est important de ne pas dématérialiser l'instrument. C'est pour cela qu'il a été fait le choix de ne pas concevoir de nouveaux instruments de musique mais des systèmes qui s'y adapteront.

4.3. Synthèse

Cette partie du document a permis de modéliser l'interaction Sujet-Instrument de musique. Des catégories de gestes en fonction de leur niveau de difficulté d'exécution sont proposées. Elles permettent de positionner les actions de contrôle possibles d'un sujet sur un geste instrumental. Une architecture produit modulaire a ensuite été proposée pour fournir un support à la conception de systèmes personnalisables facilitant la pratique musicale pour les utilisateurs en situation de handicap. Finalement, cette architecture produit doit remplir les conditions suivantes :

- La présence d'un système de détection, adapté aux capacités motrices de l'utilisateur pour détecter ses actions de contrôle.
- La présence d'un système de commande pour interpréter les possibilités gestuelles du sujet et générer des ordres de commande
- La présence d'un système opératif pour produire le résultat sonore à partir des ordres de commande

5. Application de l'architecture produit modulaire sur des instruments de musique

La dernière partie de cet article est consacrée à l'application de la proposition d'architecture produit modulaire pour la conception et l'amélioration des systèmes de l'association AE2M. Ces projets de conception ont impliqué des élèves-ingénieurs de différents départements de

formation de la Comue UGA à Grenoble, les chercheurs et enseignant-chercheur, le conservatoire de musique de Grenoble, des Instituts d'Education Motrice (IEM) et services d'accueils spécialisés pour les personnes en situation de handicap (SAJ). Deux projets de conception sont présentés : les systèmes MEM2 et MiniMEMs (MEM pour Mailloche Electro-Mécanique).

5.1. MEM2 : une évolution du système MEM pour jouer des instruments de percussions

Le produit développé est une évolution du système MEM qui s'adresse aux utilisateurs qui ne peuvent pas saisir une mailloche pour frapper sur un instrument de percussion. Il s'agit d'un système de frappe actionné par l'utilisateur. La MEM est composée d'un contacteur, d'un électro-aimant et d'une liaison mécanique pour permettre une frappe de la mailloche sur l'instrument (tambour, djembé, cymbale...). Ce système (Figures 14) est actuellement le plus utilisé lors des activités musicales de l'association AE2M. La MEM présente les fonctionnalités utiles suivantes :

- la possibilité de changer d'interface rapidement et facilement en fonction des capacités des enfants (utilisation possible des contacteurs déjà utilisés au quotidien par les enfants)
- le système est monté sur un pied indépendant éliminant la transmission des vibrations du système au tambour et permettant un repositionnement en fonction de l'instrument de musique.

Figures 14. Prototype du boîtier (à gauche) et utilisation de la MEM en situation musicale (à droite)

La MEM présente des inconvénients majeurs. Par exemple, l'appui de la main de l'utilisateur sur un contacteur alimente un électroaimant et déclenche l'abaissement de la mailloche sur l'instrument de musique. Le retrait de la main entraîne la relaxation de l'électroaimant. Un appui long provoque une suralimentation de l'électroaimant et engendre une dégradation du matériel électromécanique. Il est donc nécessaire d'intégrer une « sécurité » sur le nouveau système. Même si un appui involontairement long sur le contacteur est détecté, la mailloche percute le tambour et retourne instantanément à sa position initiale, à la manière d'une frappe naturelle de musicien. De même, le jeu musical par l'utilisation de la MEM est limité. Les musiciens intervenants souhaiteraient proposer un panel de cellules rythmiques en fonction de leur besoins musicaux lors des séances musicales. Il conviendra également d'optimiser le son produit par la MEM2 en limitant les bruits parasites provoqués par le choc de l'électroaimant rencontré sur la version précédente. Des modifications mineures des fonctions de la MEM lors des itérations de conception engendraient sa re-conception en entier. La conception du système était longue et il était difficile de répondre à de nouveaux besoins lors d'une mise à jour du produit. Ainsi, l'architecture produit modulaire sera utilisée pour la conception de la MEM2 comme l'évolution de la MEM.

Au niveau de ces principales fonctionnalités, le système MEM2 (Figure 15) est actionné par des contacteurs souvent utilisés par les personnes en situation de handicap. Les musiciens ont la possibilité de changer, avec une interface de commande, les modes de jeu en fonction des attentes musicales et des performances des utilisateurs. Au niveau de l'architecture produit du système MEM2, un boîtier a été conçu pour intégrer à la fois le système de commande et le système opératif (Figure 16).

Figure 15. Le système MEM2

Figure 16. L'architecture produit du système MEM2

5.1.1. Le système de détection

La force électromécanique de la mailloche est activée par un système de détection souvent manipulé par une personne en situation de handicap n'ayant pas de mouvements coordonnés et précis : les contacteurs. Ils permettent l'activation d'objets du quotidien pour gagner en indépendance. Un contacteur est comparable à un interrupteur qui est déclenché par différentes actions en fonction des capacités motrices de la personne. Dans le commerce, il existe des contacteurs mécaniques, au souffle ou encore de proximité. Chaque contacteur est muni d'une prise Jack 3,5 mm mâle. Pour chaque utilisation, il est important de stabiliser les contacteurs pour faciliter le geste de l'utilisateur. Pour cela, il existe des pastilles velcro ou encore des bras articulés pour modifier leur inclinaison et leur hauteur.

5.1.2. Le système de commande

Le système de commande est constitué d'une carte de commande pour interpréter les messages de contrôle du système de détection. Cette carte électronique a été conçue pour ce produit. Elle intègre un microcontrôleur et un étage d'amplification de signal pour générer les ordres de commande à partir des informations de contrôle de l'utilisateur. Elle permet d'actionner la partie mécanique du système opératif.

Les ordres de commandes ont été définis à partir des exigences musicales des musiciens intervenants. Une interface de commande munie de boutons et d'afficheurs est associée à la carte de commande pour changer à tout moment les actions du système opératif. Elle permet de sélectionner le mode de jeu et le tempo. 10 modes de jeu et 10 tempos différents ont été définis et validés avec les musiciens de l'association AE2M (Tableau 2). Les modes de jeu 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9 sont des cellules rythmiques et sont associés au tempo disponible (nombre de pulsation par minutes).

Tableau 2. Tableau récapitulatifs des modes de jeu et des tempos

5.1.3. Le système opératif

Le système opératif se compose d'une partie mécanique et principalement d'une liaison pivot. Cette liaison faisant office de levier est générée par une rotation et une force produite par la variation de hauteur d'un électroaimant. Lorsque l'électroaimant est activé, l'axe de l'électroaimant est soulevé et entraîne la rotation de la mailloche. Lorsqu'il est désactivé, un ressort permet le retour en position initiale de l'axe de l'électroaimant. L'ensemble des composants du système de commande et du système opératif sont contenus dans un même boîtier. Il a été conçu avec des machines de prototypages rapides.

5.2. MiniMEMs : un système électromécanique pour jouer du métalophone

Le produit développé est un système électromécanique qui doit permettre à un utilisateur en situation de handicap de jouer du métalophone avec un minimum d'efforts physiques. Il est composé de 13 modules MiniMEM (mini mailloche électromécanique) intégrés dans un support de métalophone réglable en hauteur. Chaque MiniMEM peut translater horizontalement. Ainsi, le système MiniMEMs s'adapte à plusieurs tailles de métalophone (Figure 17).

Figure 17. L'architecture produit du système MiniMEMs

5.2.1. Le système de détection

Pour supprimer les contraintes d'intégration et les difficultés d'installation des contacteurs dans l'environnement de l'utilisateur, il a été convenu d'utiliser des objets du quotidien pour actionner le système MiniMEMs. Les actions de contrôle de l'utilisateur sont les frappes d'une partie de son corps (un doigt, une main, etc.) sur un objet de son environnement. Cette frappe induit une modification mécanique de la structure de l'objet et crée un phénomène physique de vibration. Pour détecter ce phénomène, un système de détection composé d'un capteur piézoélectrique peu cher (moins de deux euros), discret (petite taille) et ne nécessitant aucune alimentation a été choisi. Il est intégré dans une pince qui peut être attachée à une table, à l'accoudoir d'un fauteuil roulant, ou tout autre objet, permettant à l'utilisateur de contrôler le système MiniMEMs (Figure 18). Ce système de détection permet d'exploiter les propriétés de différents objets et de différents matériaux comme le bois, le métal, le plastique pour diversifier le jeu musical. De plus, ce système de détection est capable de détecter différents niveaux de frappe contrairement aux contacteurs du commerce qui ne délivrent qu'un signal binaire. Cette solution permet une installation rapide grâce au capteur à pince ainsi qu'une meilleure intégration du système dans l'environnement de l'utilisateur.

Figure 18. Le système MiniMEMs et la pince piézoélectrique

5.2.2. Le système de commande

Le système de commande se compose d'une plateforme Arduino. Elle a été choisie pour la création de systèmes électroniques plus ou moins complexes par des débutants, amateurs ou professionnels. Dans ce projet, il donne la possibilité de combiner les performances de la programmation à celle de l'électronique en simplifiant les schémas électroniques et le coût de la réalisation. Le programme informatique permet d'interpréter les messages de contrôle fournis par le système de détection. Actuellement, le système de commande génère des ordres de commande pour jouer de manière aléatoire les notes du métallophone à partir de la détection d'une seule frappe de l'utilisateur sur un objet. Pour chaque note, il est possible de changer la vitesse de frappe de la mailloche et d'ajuster manuellement la sensibilité du capteur en fonction des capacités motrices de l'utilisateur à frapper sur un objet.

5.2.3. Le système opératif

En ce qui concerne la pièce de support (Figure 19), la forme d'une boîte rectangulaire permettant d'intégrer les composants électroniques et mécaniques a été adoptée. Ce boîtier peut être ajusté en fonction de la taille du métallophone utilisé. De plus, la fermeture de ce boîtier garantit la protection des utilisateurs contre le mouvement des pièces intérieures. Au niveau esthétique de l'objet, on adopte les couleurs vives permettant de rendre le produit final intéressant aux yeux des jeunes utilisateurs ciblés. L'ensemble de ce boîtier a été réalisé en utilisant des procédés de fabrication de prototypage rapide pour obtenir des modèles et des pièces fonctionnelles très rapidement à partir de plaque de bois. Le produit développé permet d'ajuster la position horizontale d'une MiniMEM à la position des lames du métallophone. Chaque MiniMEM est constituée d'un support d'électroaimant, d'un ressort, d'une roue et d'une mailloche (Figure 20). Le mouvement de la mailloche est généré avec une force de tirage produite par la variation de hauteur de l'électroaimant. Un ressort permet le retour en position initiale.

Figure 19. Le support de métallophone

Figure 20. Exemple d'une MiniMEM

6. Discussions

6.1. L'architecture produit modulaire

L'apport de l'architecture produit modulaire a présenté des avantages considérables sur les phases d'itérations de conception des systèmes MEM2 et MiniMEMs. Elle a permis un développement et une amélioration continue du produit par un affinement progressif des solutions de conception. En effet, chaque élément de l'architecture produit modulaire a été validée individuellement, ce qui a facilité les paramétrages, l'implémentation des options de personnalisation et les évaluations des systèmes. Lors d'une mise à jour du produit, il ne sera pas nécessaire de re-concevoir le produit entier.

Les musiciens ne connaissent pas toujours les dernières technologies pour la réalisation des systèmes adaptés. A chaque projet de conception, la découverte est permanente et ils sont de plus en plus demandeurs de nouvelles possibilités techniques et sonores. Ils semblent de plus en plus exigeants. L'architecture produit modulaire permet de répondre à ce contexte. Selon les besoins, les modifications porteront sur le système de commande (personnalisable aux techniques de jeu musical) mais aussi sur le système opératif (personnalisable à l'instrument de musique). Pour les utilisateurs en situation de handicap, il est plus facile de prendre en compte l'évolution de leurs maladies ou le changement de leurs appareillages médicaux pour mettre à jour les interfaces proposées. Lors d'un dysfonctionnement des systèmes, l'architecture modulaire facilite également leur maintenance. En effet seulement les modules et les interfaces en panne seront à réparer ou à changer.

6.2. Processus de conception et expérimentations

De manière préliminaire à la conception des produits MEM2 et MiniMEMs, les expérimentations nécessaires permettant de créer le modèle utilisateur ont été menées. Bien que non présentés ici, les résultats ont été utilisés pour proposer les systèmes personnalisables aux possibilités gestuelles de l'utilisateur, et qui répondent à nos critères d'utilisabilité. Les outils déployés pour la caractérisation des spécificités motrices ont la particularité d'être adaptés pour des études de terrain présentant des contraintes de temps importantes et des moyens financiers limités. Le modèle IPP a contextualisé le produit à concevoir autour de la situation de handicap. Il a permis une meilleure identification des éléments constitutifs de la situation de handicap pour mieux spécifier le contexte d'utilisation et les exigences de l'utilisateur. L'évaluation croisée couplée à la méthode d'évaluation subjective de la charge de travail NASA-TLX a permis de vérifier la pertinence de la personnalisation des systèmes. En appliquant le processus de conception intégrant la caractérisation des spécificités motrices, nous avons proposé des solutions personnalisables en améliorant la performance de l'utilisateur pour exécuter une tâche.

Le système de détection personnalise le produit aux capacités motrices de son utilisateur, le système de commande au jeu musical et le système opératif aux résultats sonores. Nous avons appliqué cette architecture produit modulaire dans les produits MEM2 et MiniMEMs pour faciliter la conception de systèmes adaptés pour la pratique musicale. Bien que non mesurés, les commentaires des utilisateurs (personnes en situation de handicap et musiciens professionnels) sur le résultat sonore et les modes de jeu proposés sont très positifs.

Nous avons également observé que la modélisation de l'Interaction Sujet/Instrument de musique et la structure produit permettent le déploiement d'une approche pédagogique auprès des concepteurs qui souhaitent développer ces systèmes bien spécifiques.

Conclusion

Cette article propose une méthode générique d'un processus de conception adapté au contexte de la conception d'aides techniques. Le processus CARACTH est inspiré de la CCU auquel a été ajouté un modèle intégrant les éléments constitutifs de la situation de handicap autour d'un axe IPP, la caractérisation de spécificités motrices des utilisateurs et la définition d'une architecture produit modulaire. Différentes étapes ont été définies pour permettre l'enchaînement de cette caractérisation vers la conception d'interfaces personnalisées et évolutives.

Après une modélisation de l'interaction Sujet en situation de handicap/Instrument de musique une architecture produit modulaire pour notre contexte de recherche a été proposée. Elle a été appliquée à la conception de deux systèmes, MEM2 et MiniMEMs, pour l'association AE2M. Cette architecture produit modulaire a permis de simplifier les phases de propositions de solutions de conception et les phases d'itérations à l'intérieur du processus CARACTH.

Bibliographie

- Barral, C. « De l'influence des processus de normalisation internationaux sur les représentations du handicap. » Handicap, revue de sciences humaines et sociales, n° 81, 1999, 20-34.
- Chapireau, F. « La classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé ». Gérontologie et société, 99, n°4, 2001, 37-56.
- Chapireau, F. « La nouvelle classification de l'OMS : "Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé". » Annales Médico-psychologiques, revue psychiatrique, 160, n°3, 2002, 242-46.
- Bibliographie
- Colle, E., Delarue S., et Philippe Hoppenot. « Conception d'une aide technique complexe et innovante : Application au projet ARPH ». Sciences et Technologies pour le Handicap, 1, n°1, 2007, 71-94.
- Colvez, A, et Chapireau F. « Pour une amélioration de la classification internationale des déficiences, incapacités et désavantages sociaux et contre un abandon de ses bases conceptuelles ». Forum des sauvegardes, 4, n° 9, 1998, 9-10.
- Das, A., et Dag S. « Human-centred methods in the design of an e-health solution for patients undergoing weight loss treatment ». International Journal of Medical Informatics, 82, n°11, 2013, 1075-1091.
- Delcey, M. « Notion de situation de handicap (moteur). Les classifications internationales des handicaps. » APF, 2002, 17.
- Fougeyrollas, P.. « Classification québécoise: Processus de production du handicap ». Quebec : Réseau International sur le Processus de Production du Handicap, 1998, 136.
- ISO, 2010. « Ergonomics of human-system interaction: Human-centred design for interactive systems : ISO 9241-210 ». AFNOR.
- Gu, P., et Sosale S.. « Product modularization for life cycle engineering ». Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 15, n°5, 1999, 387-401.
- Hashemian, M. « Design for adaptability ». Thèse, University of Saskatchewan, 2005.
- Holz, E. M., Johannes, H., Staiger-Sälzer, P., Tangermann, M., et Kübler, A. « Brain-computer interface controlled gaming: Evaluation of usability by severely motor restricted end-users ». Artificial Intelligence in Medicine, 59, n°2, 2013, 111-120.
- Holzinger, A. « User-Centered Interface Design for Disabled and Elderly People: First Experiences with Designing a Patient Communication System (PACOSY) ». In Computers Helping People with Special Needs, Lecture Notes in Computer Science 2398. Springer Berlin Heidelberg, 2002, 33-40.
- Huang, C. C., et Kusiak A. « Modularity in design of products and systems ». IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, 28, n°1, 1998, 66-77.
- Jaudoin, D., Mathieu Y., Galaup F., Weber S., Gauthier J.-C., et Bavoux K. « Kinésithérapie de la grande brûlure: PPH et tendances actuelles ». Kinésithérapie, la Revue, 8, no 74, 2008, 26-27.
- Keates, S., Clarkson P. J., Harrison L.-A., et Robinson P. « Towards a Practical Inclusive Design Approach ». In Proceedings on the 2000 Conference on Universal Usability, CUU '00. USA, 2000, 45-52.
- Kielhofner, G. « Model of Human Occupation: Theory and Application ». Lippincott Williams & Wilkins, 2008, 565.
- Lange, B., Flynn, S., Proffitt, R., Chang, C.-Y., et Rizzo, A. « Development of an Interactive Game-Based Rehabilitation Tool for Dynamic Balance Training ». Topics in Stroke Rehabilitation, 17, n°5, 2010, 345-352

- Laux, L. F., McNally, P. R., Paciello, M. G., et Vanderheiden, G. C. « Designing the World Wide Web for People with Disabilities: A User Centered Design Approach ». In *Proceedings of the Second Annual ACM Conference on Assistive Technologies, Assets '96*. USA, 1996, 94-101
- LeRouge, C., Ma, J., Sneha, S., et Tolle, K.. « User profiles and personas in the design and development of consumer health technologies ». *International Journal of Medical Informatics*, 82, n°11, 2013, 251-268.
- Lu, E. C., Wang, R., Huq, R., Gardner D., Karam, P., Zabjek, K., Hebert, D., Boger, J., et Mihailidis, A. « Development of a Robotic Device for Upper Limb Stroke Rehabilitation: A User-Centered Design Approach ». *Paladyn* 2, n°4, 2011, 176-184.
- Maguire, M. « Methods to support human-centred design ». *International Journal of Human-Computer Studies*, 55, n°4, 2001, 587-634.
- Menzies, R., Herron, D., Scott, L., Freeman, R., et Waller, A. « Involving Clinical Staff in the Design of a Support Tool Improve Dental Communication for Patients with Intellectual Disabilities ». In *Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, ASSETS '13*, USA: ACM, 2013, 551-552.
- OMS. « Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé: CIF ». Organisation mondiale de la Santé, 2001, 304.
- Pahl, G., Beitz, W., et Wallace, K. « Engineering Design: Systematic Approach ». Springer-Verlag GmbH, 1996, 588
- Petiot J.-F., Poirson, E. « User-centered design via sensory analysis techniques and optimization procedures: application to musical instrument design ». *DS 35: Proceedings ICED 05, the 15th International Conference on Engineering Design*, Melbourne, Australia, 2005.
- Plos, O., Aoussat, A., et Buisine, S. « Innover pour et par le handicap. Méthodologie de conception de produits adaptée aux marchés de niche: application au marché du handicap moteur. » *THESE*, Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM, 2011.
- Plos, O., Buisine, S., Aoussat, A., Mantelet, F., et Dumas, C. « A Universalist strategy for the design of Assistive Technology ». *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42, n°6, 2012, 533-541.
- Poirson, E., Petiot, J.-F., et Gilbert, J. « Integration of User Perceptions in the Design Process: Application to Musical Instrument Optimization ». *Journal of Mechanical Design*, 129, n°1, 2007, 1206-1214.
- Ravaud, J.-F. « Modèle individuel, modèle médical, modèle social : la question du sujet. » *Les enjeux de la classification internationale des handicaps*, n°81, 1999, 64-75.
- Reed, K. L., et Sanderson, S. N. « Concepts of Occupational Therapy ». Lippincott Williams & Wilkins, 1999, 548.
- Robins, B., Ferrari, E., Dautenhahn, K., Kronreif, G., Prazak-Aram, B., Gelderblom, G.-J., Tanja, B., Caprino, F., Laudanna, E., et Marti, P. « Human-centred design methods: Developing scenarios for robot assisted play informed by user panels and field trials ». *International Journal of Human-Computer Studies*, 68, n°12, 2010, 873-898.
- Rönnbäck, S., Piekkari, J., Hyypä, K., Berglund, T., et Koskinen, S. « A Semi-autonomous Wheelchair Towards User-Centered Design ». In *Computers Helping People with Special Needs*, Springer, 4061, 2006, 701-708.
- Roussel, P. « CIH-1/CIH-2 : rénovation complète ou ravalement de façade ? ». *Handicap*, n°81, 1999, 7-19.
- Taylor, H. A., Sullivan, D., Mullen, C., et Johnson, C. M. « Implementation of a user-centered framework in the development of a web-based health information database and call center ». *Journal of Biomedical Informatics*, 44, n°5, 2011, 897-908.
- Schreuder, M., Riccio, A., Risetti, M., Dähne, S., Ramsay, A., Williamson, J., Mattia, D., et Tangermann, M.. « User-centered design in brain-computer interfaces—A case study ». *Artificial Intelligence in Medicine*, 59, n°2, 2013, 71-80.
- Teixeira, L., Ferreira, C., et Sousa Santos, B. « User-centered requirements engineering in health information systems: A study in the hemophilia field ». *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 106, n°3, 2012, 160-174.
- Ulrich, K. « Fundamentals of Product Modularity ». In *Management of Design*, Springer, 1994, 219-231.
- Vanhooydonck, D., Demeester, E., Hüntemann, A., Philips, J., Vanacker, G., Hendrik Van Brussel, et Nuttin, M. « Adaptable navigational assistance for intelligent wheelchairs by means of an implicit personalized user model ». *Robotics and Autonomous Systems*, 58, n°8, 2010, 963-977.
- Zickler, C., Halder, S., Kleih, S. C., Herbert, C., et Kübler A. « Brain Painting: Usability testing according to the user-centered design in end users with severe motor paralysis ». *Artificial Intelligence in Medicine*, 59, n°2, 2013, 99-110.

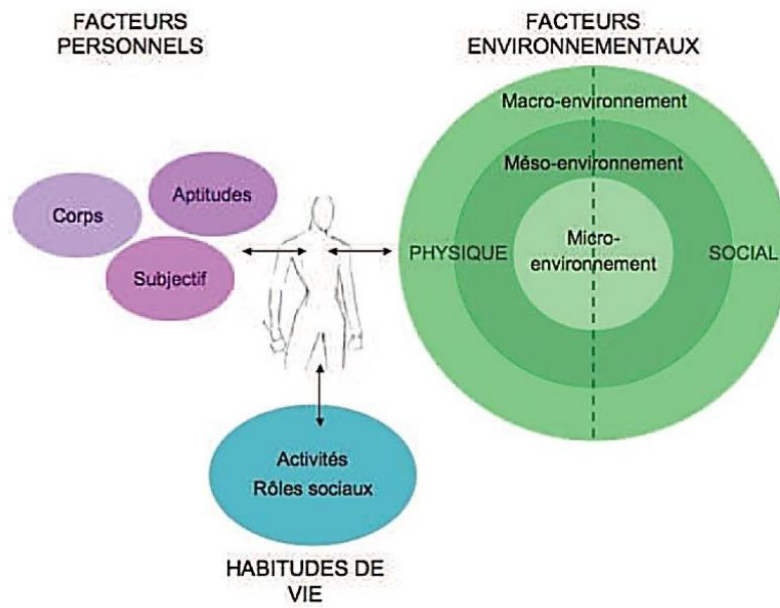


Figure 1. Schéma de synthèse du modèle systémique du développement humain (Plos, O., (2011))

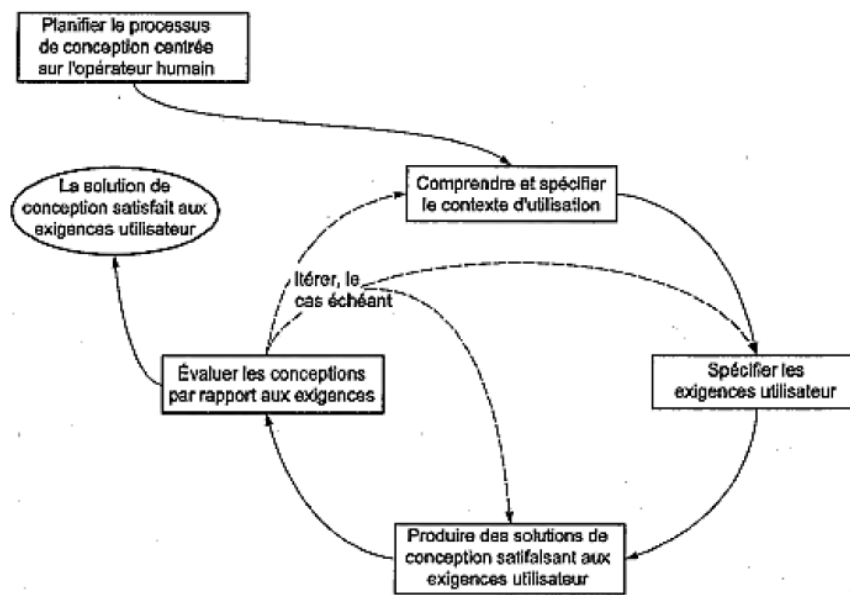


Figure 2. Le processus de conception centrée utilisateur ISO, (2010)

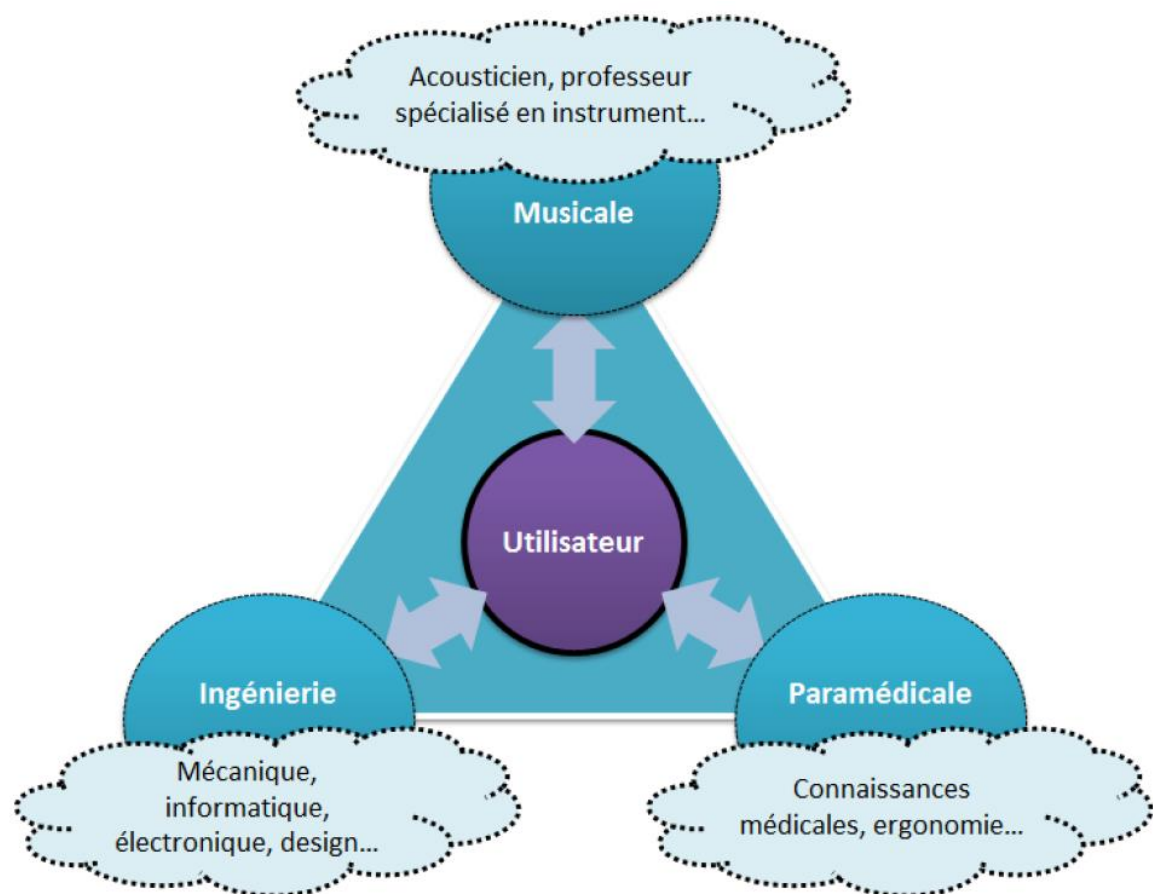
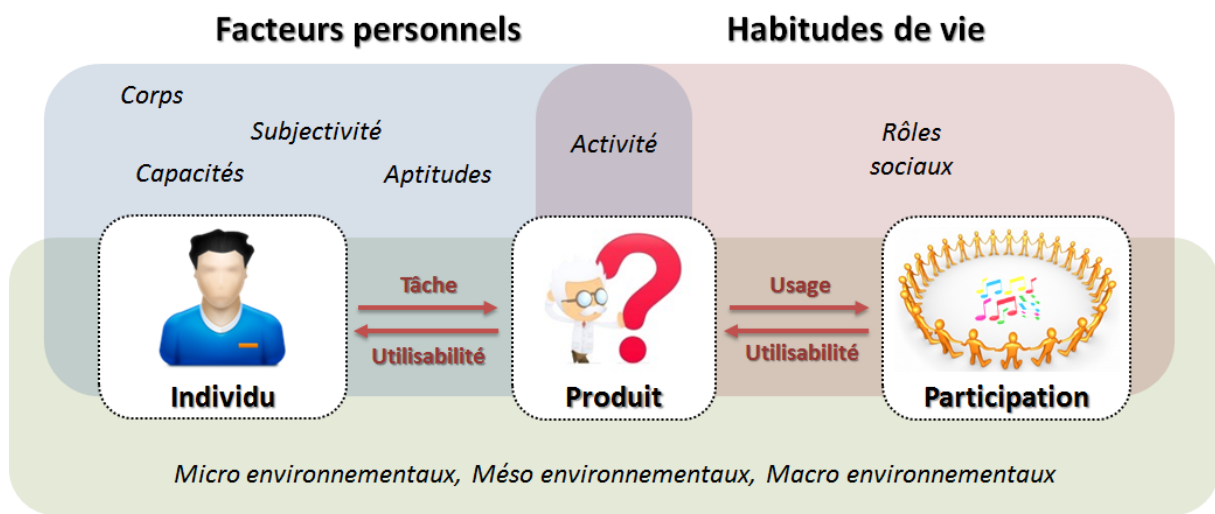


Figure 3. Triangle de compétences proposé par l'Association AE2M.



Facteurs environnementaux (physiques et sociaux)

Figure 4 Le modèle IPP : Individu – Produit - Participation.

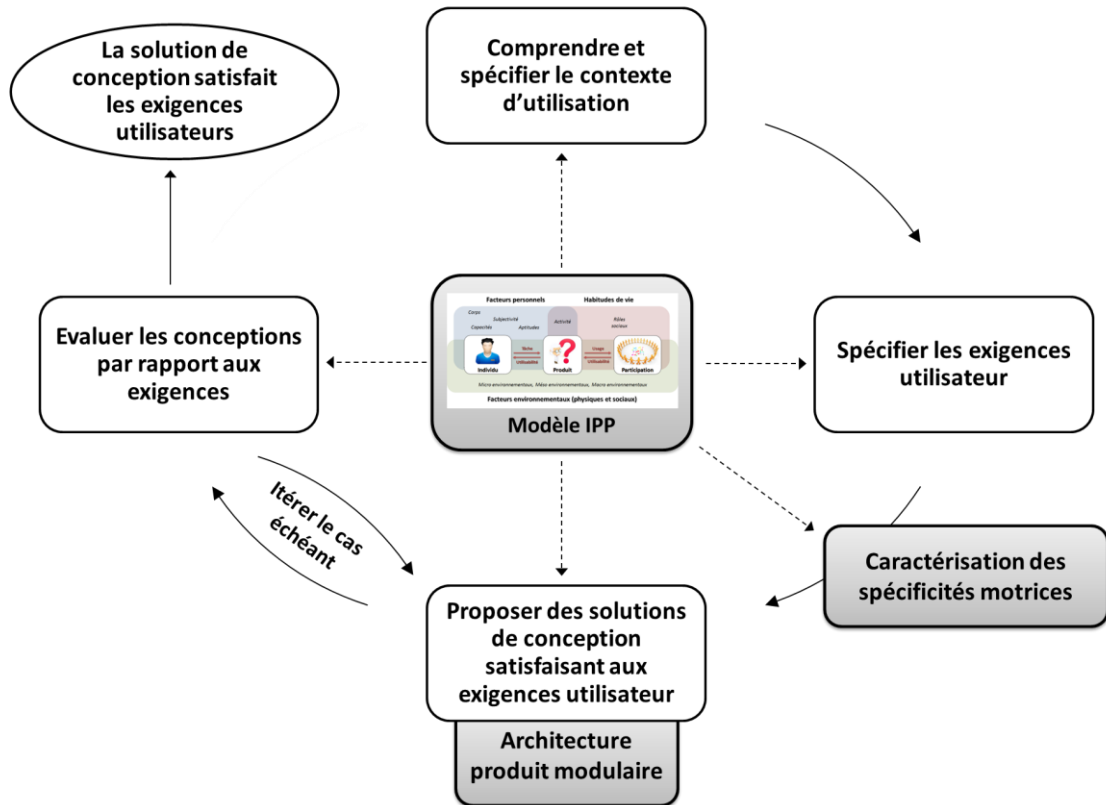


Figure 6. Le positionnement de la caractérisation des spécificités motrices et du modèle IPP à l'intérieur du cycle CCU

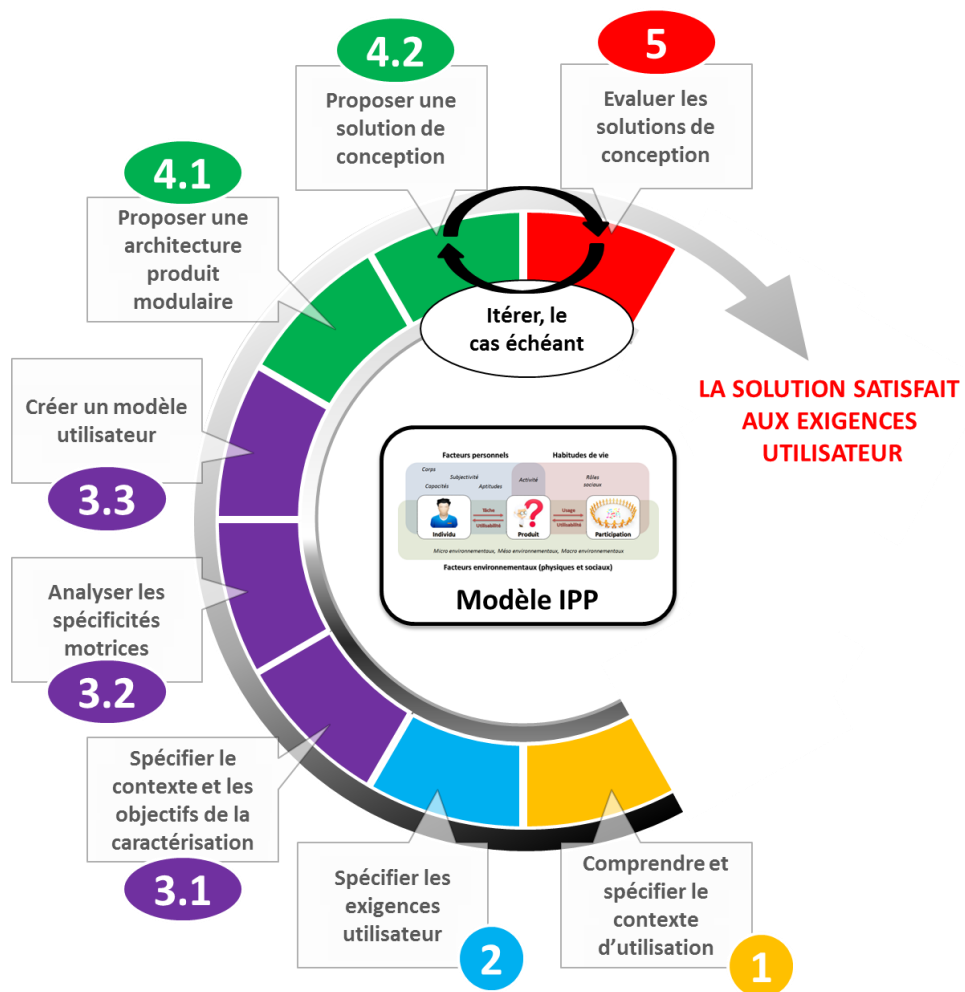
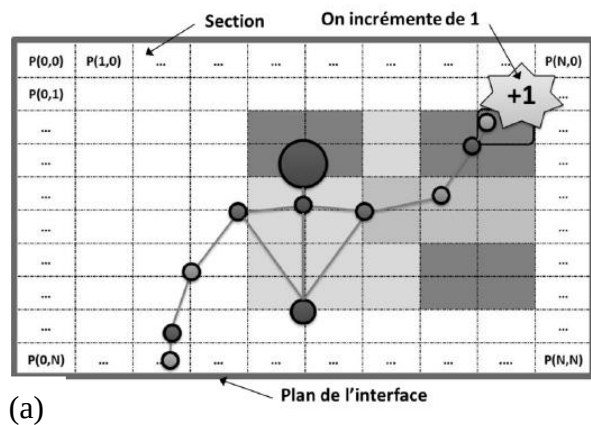
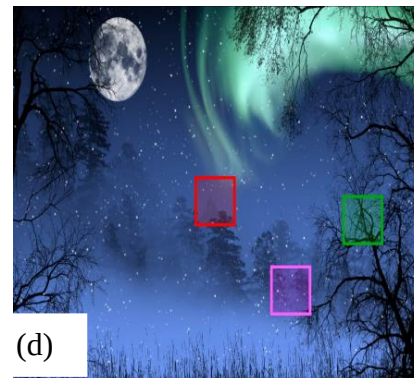
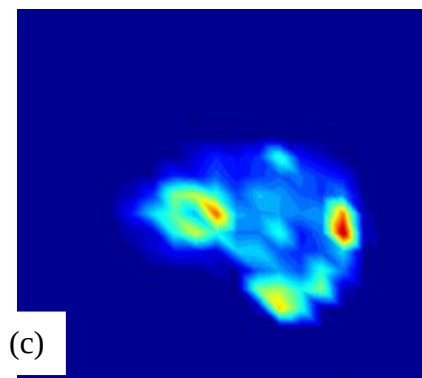


Figure 7. Le cycle du processus de conception CARACTH

[illegible]

Figures 8. Modélisation par densitogramme (a), Matrice des pondérations (b), MapColor (c), Solution de conception (d)

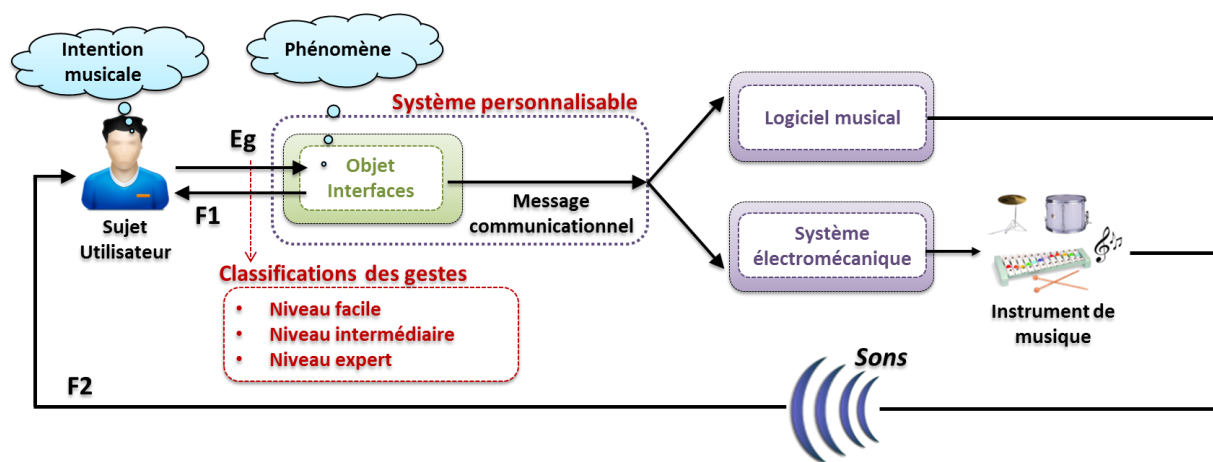


Figure 9. La modélisation de l'interaction Sujet-Instrument de musique. Eg (Entrées gestuelles), F1 (Feedback primaire), F2 (Feedback secondaire)

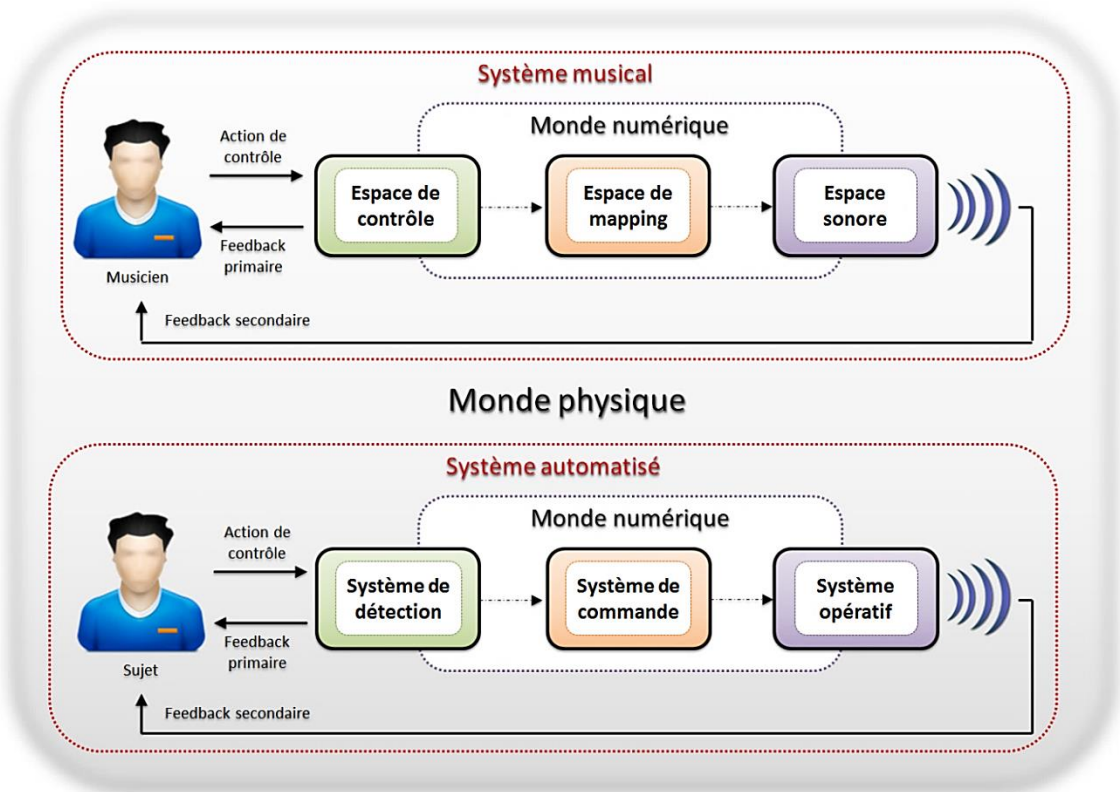


Figure 10. La correspondance entre un système musical et un système automatisé

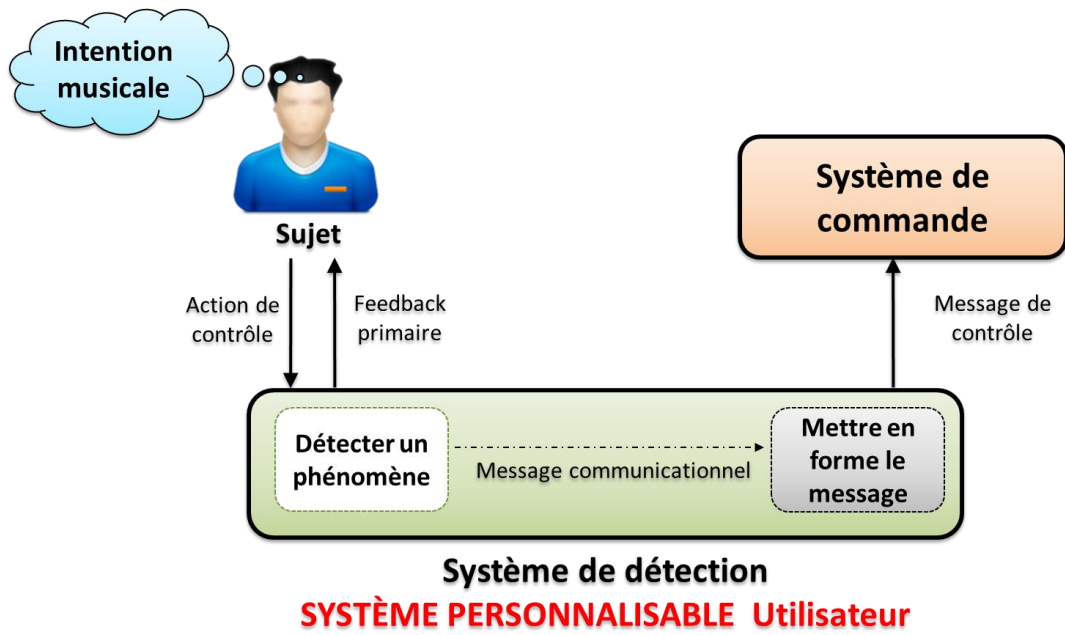


Figure 11. L'architecture du système de détection

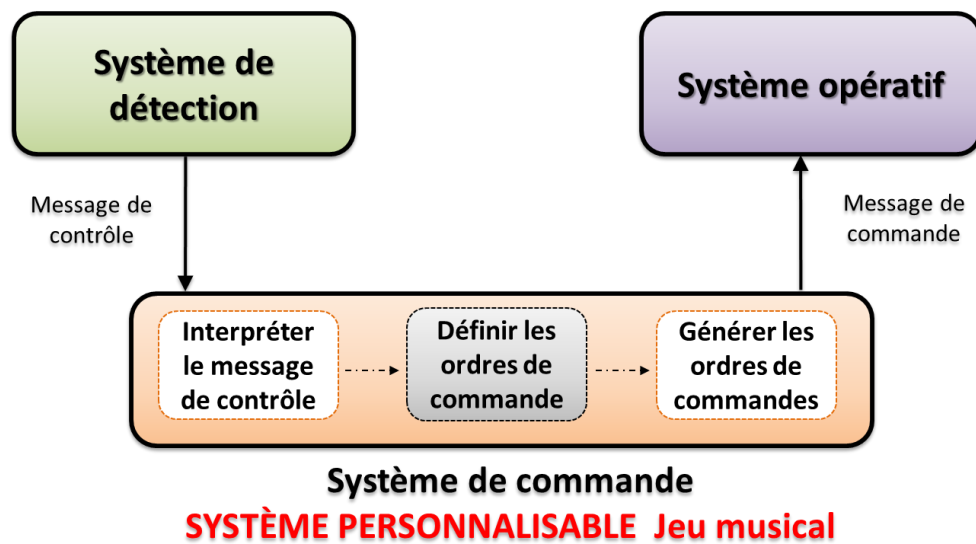


Figure 12. L'architecture du système de commande

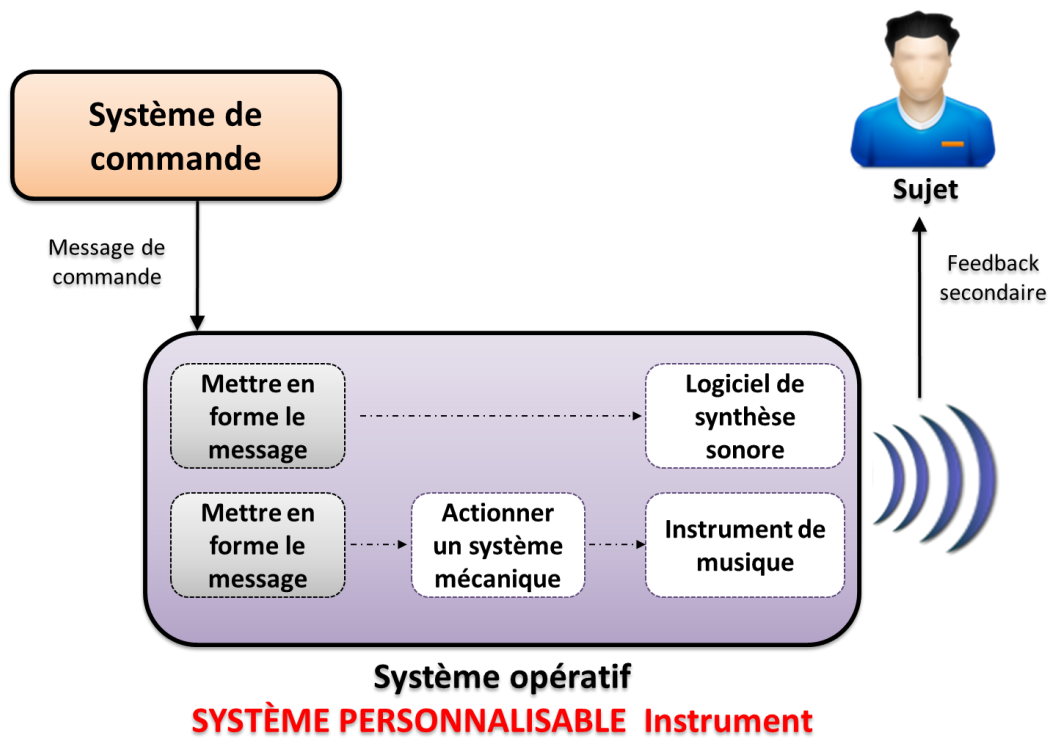
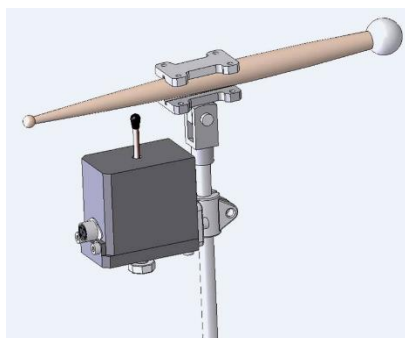


Figure 13. L'architecture du système opératif



Figures 14. Prototype du boitier (à gauche) et utilisation de la MEM en situation musicale (à droite)



Figure 15. Le système MEM2

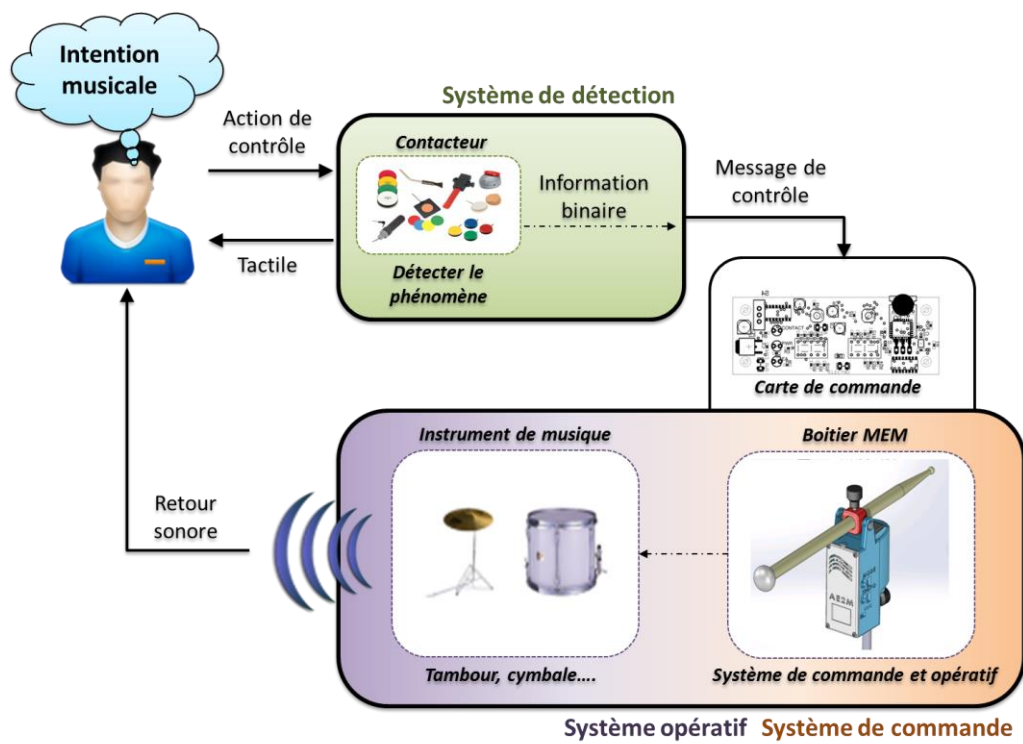


Figure 16. L'architecture produit du système MEM2

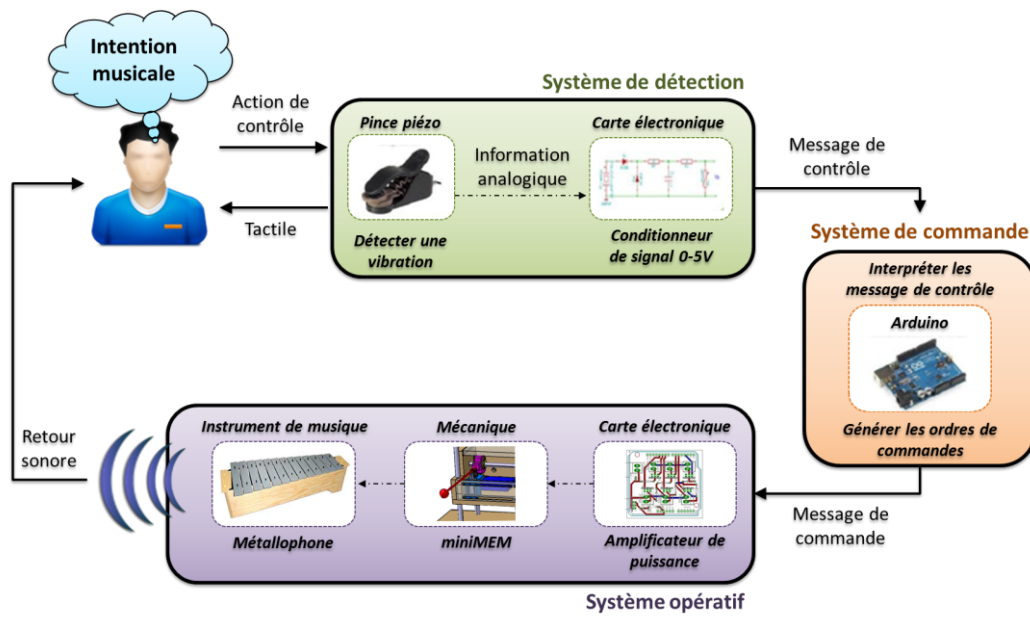


Figure 17. L'architecture produit du système MiniMEMs

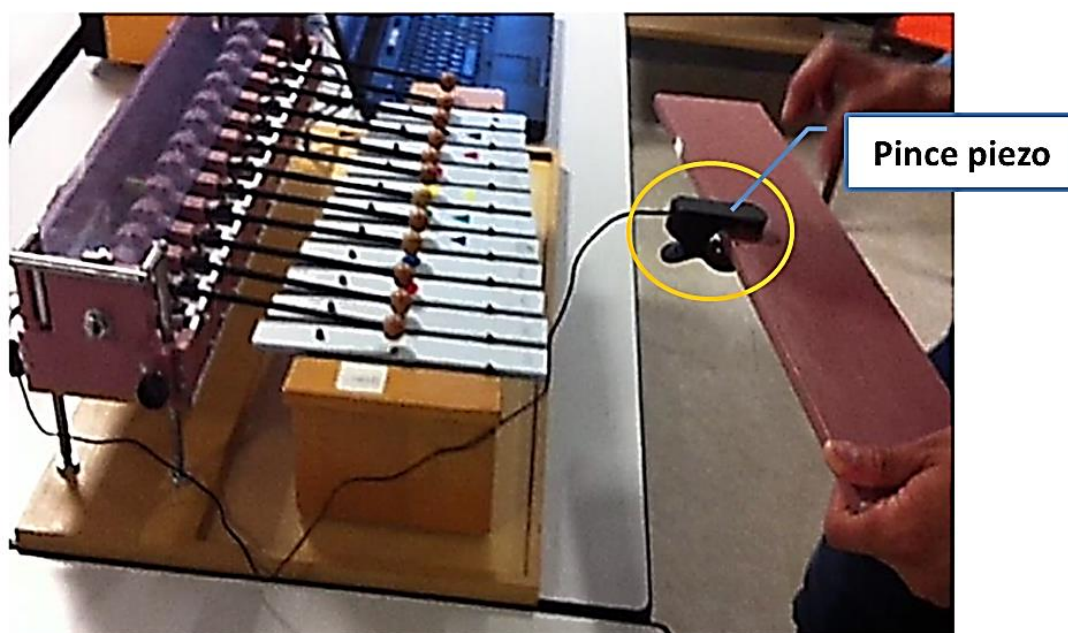


Figure 18. Le système MiniMEMs et la pince piézoélectrique

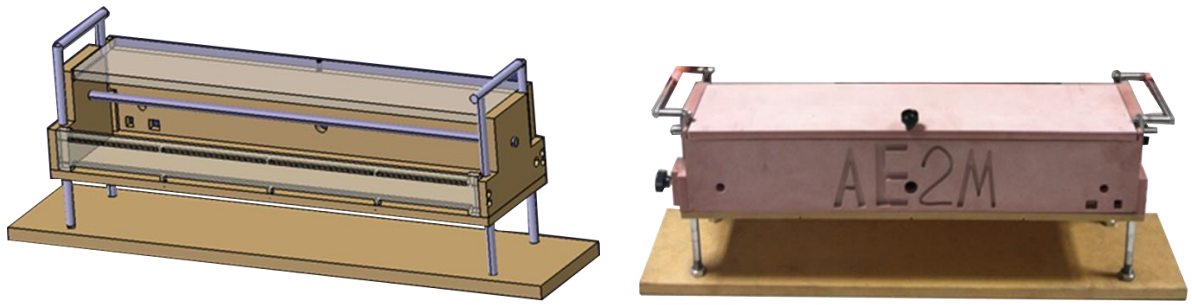


Figure 19. Le support de métalophone

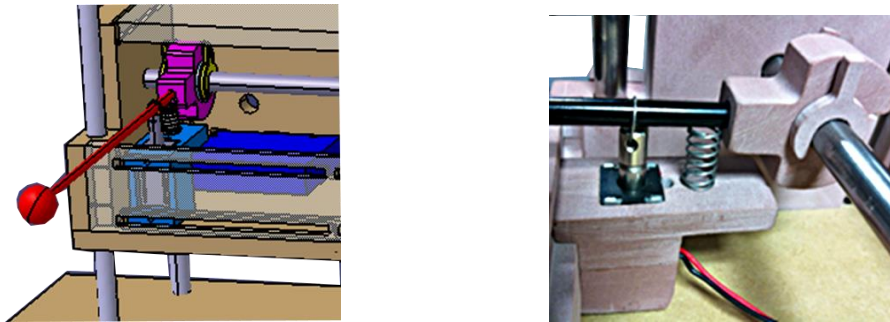


Figure 20. Exemple d'une MiniMEM

Classifications Rubriques	CIH	CIF	PPH	SIMH
Causes de la maladie		Problème de santé	Facteurs de risques	
Corps de l'individu	Déficiences	Fonctions organiques et structures anatomiques	Systèmes organiques	Modification du corps
Personnalité de l'individu		Facteurs personnels	Facteurs personnels	Subjectivité
Capacités de l'individu pour effectuer une tâche	Incapacités	Activités	Aptitudes	Limitations fonctionnelles
Réalisation de la tâche dans une situation de la vie	Désavantage social	Participation	Habitudes de vie, contexte socioculturel	Obstacles dans les situations de vie
Environnement		Facteurs environnementaux	Facteurs environnementaux	

Tableau 1. Comparatif (CIH, CIF, PPH et SIMH) des éléments constitutifs de la situation de handicap

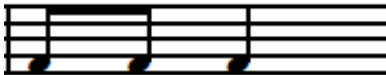
Mode de jeu	Nom	Définition
0	Mode normal	L'utilisateur appuie sur le contacteur pour déclencher un coup sur le tambour. La mailloche ne se relevant que lors du relâchement du contacteur. Rester plus de six secondes en appui sur le contacteur peut détériorer l'électroaimant. Une protection a donc été mise en place pour relever automatiquement la mailloche au bout de 5 secondes.
1	Mode rebond	La mailloche percute le tambour et retourne instantanément à sa position initiale à la manière d'une frappe naturelle de musicien, même si il y a un appui involontairement long sur le contacteur,
2	Mode inversé	L'utilisateur appuie d'abord sur le contacteur et la mailloche frappe le tambour quand il enlève la main.
3	Mode rafale	L'utilisateur appuie sur le contacteur déclenche une rafale de coups, à la manière d'un "roulé" de caisse claire. La vitesse des coups pourra être réglée à l'aide du bouton tempo.
4	2 croches-noires	
5	Saute – noire	
6	Triolet – noire	
7	Syncopette – noire	
8	Croche – 2 doubles – noire	
9	4 doubles – noire	
Tempo	Les tempos de 0 à 9 représentent respectivement 60, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180 et 200 pulsations par seconde	

Tableau 2. Tableau récapitulatifs des modes de jeu et des tempos