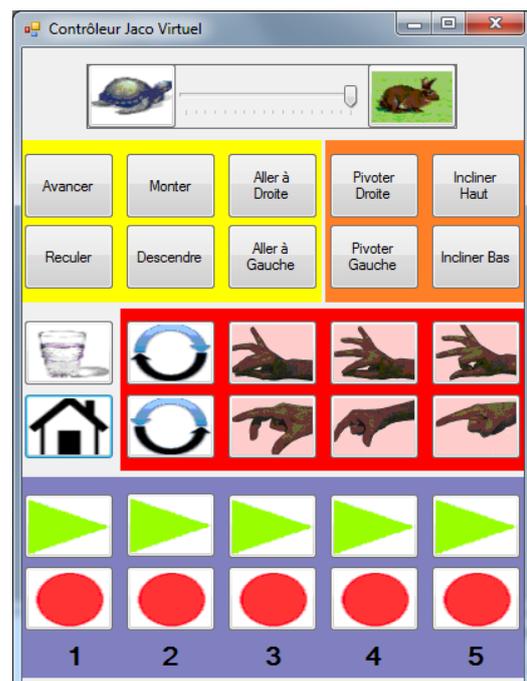




**FONDATION**  
**Paul Bennetot**  
*La Fondation du*  
*Groupe Matmut*

## RAPPORT FINAL

« Conception et Evaluation d'un système d'aide à la décision pour le choix de l'interface de commande du bras robotique d'assistance à la manipulation JACO »



## Projet n°: RMSQV1044

### RAPPORT FINAL

**INTITULE DU PROJET : < Conception et Evaluation d'un système d'aide à la décision pour le choix de l'interface de commande du bras robotique d'assistance à la manipulation JACO >**

**THEME : < Appel à projets 2011 - TRAUMATOLOGIE ET DEPENDANCE >.**

#### DONNEES RELATIVES A L'ORGANISME PORTEUR DU PROJET

Organisme porteur du projet : Groupe Languedoc Mutualité - CENRob

Le responsable scientifique du projet était le Dr Charles FATTAL jusqu'en juillet 2014.

Adresse : CENRob, Centre d'Expertise en Robotique d'assistance  
740, rue des apothicaires- 34 090 MONTPELLIER

Le responsable scientifique actuel est le **Dr Emilie Guettard de la Clinique Beau Soleil, depuis juin 2015.**

#### DONNEES RELATIVES AU PROJET

Partenaires initiaux du projet :

- Centre Mutualiste Neurologique Propara,
- 263 rue du Caducée, 34090 Montpellier
- CMPR La Tour De Gassies,  
rue de la Tour de Gassies, 33520 Bruges
- IRIT, Université Paul Sabatier,  
118, Route de Narbonne, 31 062 Toulouse Cedex 9

Date de début du projet : Mars 2012

Date de fin du projet : Mai 2016 ; avec un arrêt de juin 2014 à juin 2015

Durée initiale du projet : 24 mois

## SOMMAIRE

1	Préambule .....	4
1.1	Difficultés administratives et organisationnelles rencontrées.....	4
1.2	Rappel des objectifs / hypothèse(s) du projet .....	4
2	Méthodologie d'intervention choisie .....	5
2.1	Déroulé de l'étude.....	5
2.2	Critères de jugement.....	5
3	Etapas et résultats du projet .....	7
3.1	Conception des trois interfaces alternatives pour le contrôle du bras Jaco .....	7
3.1.1	Focus Group.....	7
3.1.2	Phases itératives de conception des trois interfaces retenues.....	10
3.1.3	Mise en place d'une interface pour les sessions .....	12
3.2	La plateforme MPH.....	12
3.2.1	Plateforme MPH disponible au début du projet .....	12
3.2.2	Adaptation et extension de MPH à la version 2.1 .....	13
3.2.3	Spécification de l'exercice .....	14
4	Etude de cas.....	16
4.1	Scénario de d'apprentissage et de test .....	16
4.2	Critères de jugement .....	17
4.3	Questionnaire de satisfaction.....	18
5	Synthèse des résultats.....	19
5.1	Composants logiciels .....	19
5.2	Documents rédigés dans le cadre du projet.....	19
6	Valorisation.....	19
6.1	Publication.....	19
6.2	Présentation orale .....	20
7	Difficultés rencontrées et solutions envisagées pour terminer le projet interrompu en juillet 2014 .....	20
7.1	Partenaires.....	20
7.2	Difficultés scientifiques.....	21
8	Proposition d'un nouveau projet .....	22

## 1 Préambule

### 1.1 Difficultés administratives et organisationnelles rencontrées

Ce projet a suivi son cours jusqu'en juin 2014 et a ensuite subi des ralentissements et un arrêt complet compte tenu de difficultés multiples jusqu'en juillet 2015 exposées ci-après.

En effet, d'une part, le Dr Charles Fattal, investigateur principal, en charge de ce projet a quitté son poste au sein de la structure PROPARA. D'autre part, un litige a opposé la direction de PROPARA au Conseil d'Administration du groupe Languedoc Mutualité dont il fait partie avec séparation administrative effective depuis. Le CENRob et ses projets ont donc été mis en suspens pendant plusieurs mois.

Un courrier a été adressé par Mr Gaël BRUX, Directeur Général de l'Union Mutualiste PROPARA, au CPP sud méditerranée IV en février 2015 pour abandon du CPP obtenu « Etude de faisabilité du système d'aide à la décision pour el choix de l'interface de commande du bras robotique d'assistance à la manipulation JACO ».

Mr Olivier JAUDON, directeur de la Clinique Beau Soleil et du groupe Languedoc Mutualité, a tenu à ce que les activités du CENRob continuent et pour cela a recruté un nouveau médecin MPR le Dr Emilie Guettard à partir de juin 2015 pour reprendre les projets du CENRob en cours au sein de la Clinique Beau Soleil.

Courant juillet 2015, suite à un échange avec Mr Olivier JAUDON, le projet JACO a été réactivé. La Fondation Paul Bennetot a émis un avis favorable à ce que Languedoc Mutualité poursuive le projet Il était aussi demandé que la situation du projet soit clarifiée avec 3 préalables :

- Régulariser les relations avec l'IRIT rapidement ;
- Evaluer la capacité de mise en œuvre de l'étude au sein de la tour de Gassie ;
- Informer l'association Approche.

Depuis juillet 2015, la responsable scientifique du projet est désormais le Dr Emilie Guettard, médecin MPR de la Clinique Beau Soleil.

Le présent rapport décrit les activités effectuées jusqu'en juin 2014, puis les actions entreprises pour tenter de terminer l'étude clinique du projet pour l'étude clinique suite à l'abandon du CPP en février et l'étude de cas réalisées sur depuis par l'IRIT (de mars à mi-mai).

### 1.2 Rappel des objectifs / hypothèse(s) du projet

Un important champ d'application des nouvelles technologies est aujourd'hui offert aux personnes tétraplégiques pour les aider dans leur vie quotidienne. La robotique et les technologies d'information et de communication en font partie.

Dans l'utilisation de bras robotiques embarqués, ces deux technologies se rencontrent avec d'un côté le bras effecteur et réalisateur de tâches et de l'autre, l'interface de commande. Cette interface n'est toutefois pas toujours adaptée aux capacités motrices résiduelles de la personne en situation de handicap et ne permet pas toujours d'apporter la précision et l'efficacité attendues.

L'objectif du projet était d'étudier la place d'un dispositif de pointage et l'amélioration apportée en termes de précision et d'efficacité au travers d'interfaces virtuelles de commande du bras robotique JACO (KINOVA).

JACO est un robot d'assistance à la manipulation avec un bras et une main articulés qui assiste la personne dans ses activités comme tenir un objet, prendre un verre d'eau ou simplement replacer ses lunettes. Il peut être installé sur un fauteuil roulant électrique et permet de prendre des objets au sol, dans un rangement et même d'ouvrir une porte. Cependant, l'interface de commande du bras n'est pas toujours adaptée aux capacités de l'utilisateur.

Ce projet avait donc pour objectif de proposer des interfaces alternatives au joystick, commande de référence du bras JACO et de procéder à une évaluation clinique dans deux centres de rééducation (Centre Mutualiste Neurologique Propara et CMPR La Tour De Gassies).

Les perspectives de l'étude sont de préconiser des recommandations de choix des dispositifs d'interaction en fonction des capacités fonctionnelles résiduelles motrices du sujet à l'attention des ergothérapeutes et des médecins de médecine physique et de réadaptation.

## 2 Méthodologie d'intervention choisie

Ce projet devait réaliser une étude prospective dite de faisabilité. Une cohorte de 12 participants présentant une affection neurologique ou rhumatologique privés, partiellement ou totalement, de capacités de préhension devaient être inclus dans l'étude clinique.

### 2.1 Déroulé de l'étude

L'étude clinique prévue devait se dérouler en 3 étapes :

- Etape 1 : Apprentissage de l'utilisation du bras robotique JACO, via son interface d'origine, au travers de deux tâches prédéterminées.
- Etape 2 : Exercice d'atteinte de cibles sur la « plateforme MPH » permettant le choix du dispositif d'interaction (souris, trackball, manette wii, etc.) pour l'étape 3.
- Etape 3 : Evaluation comparative de l'interface d'origine avec les deux interfaces visuelles alternatives (« Clavier virtuel », « Pie-Menu deux niveaux») dans les 2 tâches de manipulation du bras JACO, apprises lors de l'étape 1.

### 2.2 Critères de jugement

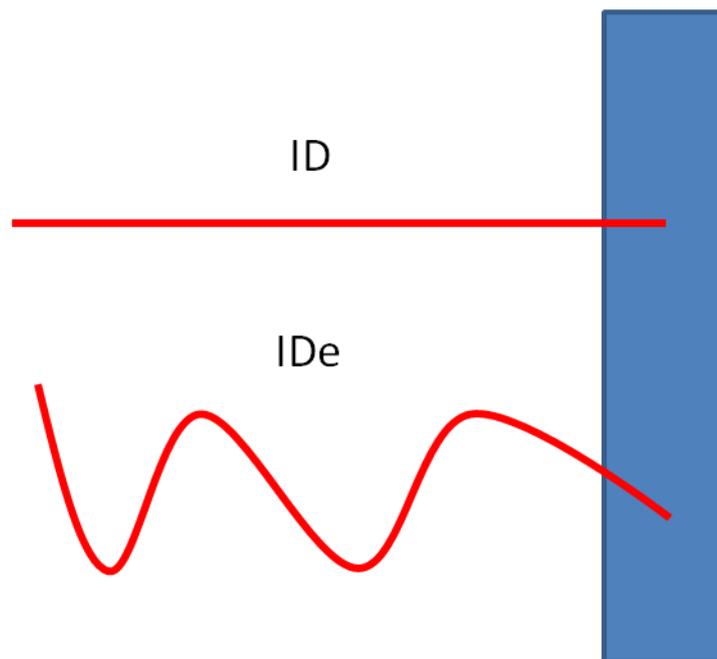
L'objectif principal sera l'amélioration de la **facilité d'utilisation** (nombre d'actions produites pour réaliser la tâche).

Le critère de jugement principal sera défini par le **nombre d'actions** produites pour réaliser la tâche.

Les objectifs secondaires auront trait à l'**amélioration de l'utilisabilité** et à la **réduction de la fatigabilité**.

Les critères de jugement secondaires sont :

- Le Temps de la réalisation de la tâche,
- L'Indice de difficulté effectif : L'indice de difficulté effectif sera calculé à partir de la loi de Fitts [Mackenzie, 1992] préconisée dans la norme ISO 9241-9 de la manière suivante
  - o  $IDE = \log_2 (De / (4,1333 * SDx) + 1)$  avec
    - $SDx$ , l'écart-type de la moyenne des  $x$  (distance entre l'acquisition et le centre de la cible acquise) ;
    - $De$  : distance parcourue par le curseur associé au dispositif.



**Figure 1 : Illustration des paramètres ID et Ide**

Cet indice permet de quantifier le degré de capacité qu'a le sujet pour atteindre une cible.

- Le **TRE** (Target Re Entry) qui correspond aux nombres de fois que le curseur du dispositif est passé sur la cible (bouton de commande) sans l'avoir sélectionné ;
- Le **TP** (Taux de Précision) **représente** l'écart entre le centre de la cible (plateforme MPH, commande d'interface de Jaco) et le point de sélection ;
- Le degré de satisfaction perçue au moyen d'une échelle de Likert de 0 (insatisfaction maximale) à 4 (satisfaction maximale) sur le ressenti de l'amélioration ;
- Le degré d'utilité perçue de cette interface au moyen d'une échelle de Likert de 0 (pas utile) à 4 (grande utilité).

### 3 Etapes et résultats du projet

Trois réunions d'avancement ont eu lieu physiquement le 20/02 2013 (à Propara), le 26/06/2013 (à l'IRIT) et le 17/02/2014 (à l'IRIT) dans la période (mars 2013- juin 2014).

Des réunions téléphoniques intermédiaires ont eu lieu très régulièrement (au moins une fois par mois) pour l'adaptation de la plateforme MPH aux besoins du projet et la conception des interfaces de commande du bras Jaco, la rédaction du CPP et du cahier d'observation.

L'activité de cette période a essentiellement concerné principalement :

- 1) La mise en œuvre d'une méthode de conception centrée et de développement des interfaces alternatives pour le contrôle du bras Jaco ;
- 2) L'adaptation et la configuration de MPH de l'IRIT aux besoins du projet ;
- 3) La rédaction du CPP et du cahier d'observation ;
- 4) L'étude sur deux sujets réalisés par l'IRIT sur des sujets volontaires (1<sup>er</sup> semestre 2016) par l'IRIT pour au re-démarrage sous la responsabilité de E. Guéttard.

#### 3.1 Conception des trois interfaces alternatives pour le contrôle du bras Jaco

La conception mise en œuvre est une méthode de conception centrée utilisateur. Elle s'est composée d'un Focus Group et des phases itératives prenant en compte l'appréciation des ergothérapeutes impliqués (CRF La Tour de Gassies et CMN PROPARA) dans le projet.

##### 3.1.1 Focus Group

L'objectif du Focus Group était de recueillir des avis des deux groupes (professionnels et aidants ; personnes en situation de handicap) sur les interfaces virtuelles inspirées des interfaces claviers du laboratoire IRIT : les types d'interface de commande du bras, les questions que cela soulève, les améliorations ou pistes souhaitées en termes d'interface (intuitivité, ergonomie, représentation, techniques d'interaction, retour visuel, etc.).



**Figure 2 : Focus Group avec les personnes handicapées et les aidants**

La préparation du Focus group a consisté en l'élaboration de cinq maquettes d'interfaces virtuelles du bras Jaco (Figure 3, Figure 4, Figure 5, Figure 6, Figure 7) pour une description et une illustration de celles-ci, d'une note d'information et d'une lettre de consentement.

Le Focus Group a lieu le 20 février 2013 au C.M.N. PROPARA à Montpellier. Celui-ci a réuni 12 personnes :

- Groupe 1 : 5 professionnels de la réadaptation (4 ergothérapeutes et d'un médecin de médecine physique et réadaptation ;
- Groupe 2 : 4 personnes en situation de handicap et 3 aidants (Figure 2);
- Equipe de l'IRIT : 3 participants qui animaient la séance et recueillaient les informations (audio et vidéo).

La Figure 4 représente une variante de l'interface « clavier virtuel » (Figure 3) primaire que nous avons désignée: seuls les labels associés aux « touches » sont matérialisées par des images. Les flèches rouges dans les images représentent les articulateurs mis en œuvre. Elles ont été définies pour faciliter la compréhension des commandes.

La Figure 5 représente l'ensemble des commandes des trois onglets des Figure 3 et Figure 4. Un jeu de couleur permet d'identifier les commandes des trois modes et celles des doigts (partie Rouge).

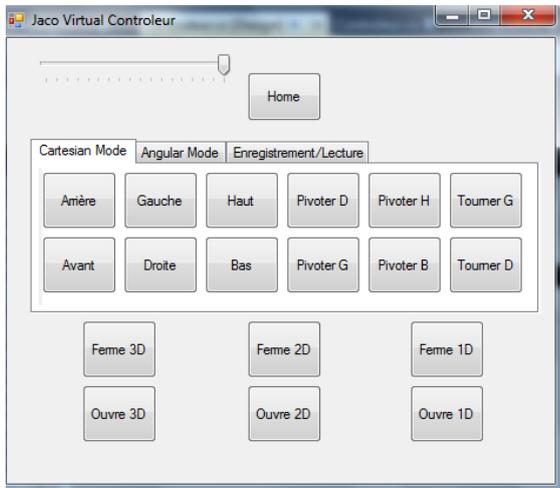


Figure 3 : Premier prototype clavier virtuel avec des labels

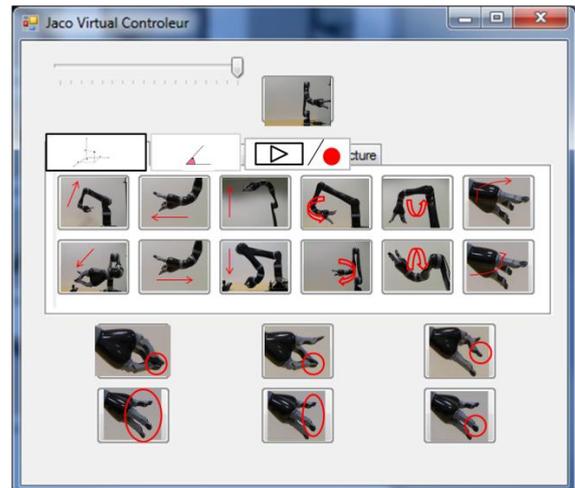


Figure 4 : Maquette clavier virtuel avec des images

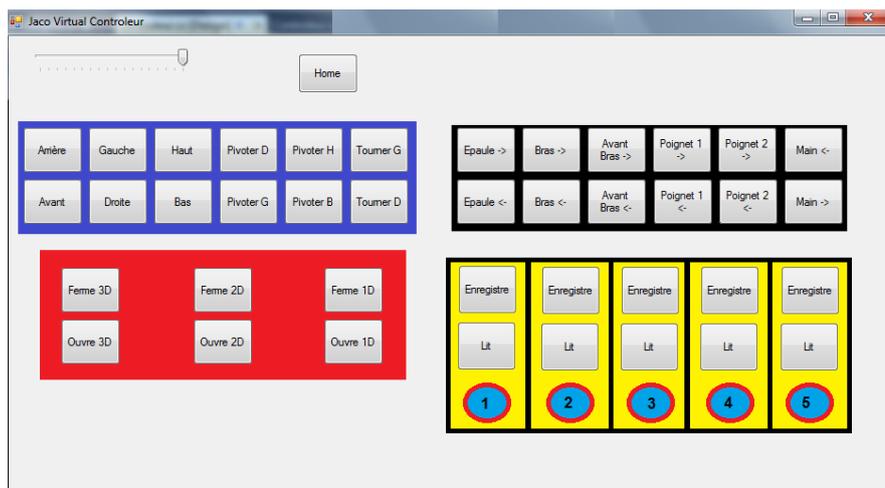


Figure 5 : Maquette clavier virtuel en pavé de couleur selon les modes

L'IRIT a réalisé deux autres maquettes sous forme de Pie Menu (voir Figure 6 et Figure 7). L'intérêt du Pie Menu est la diminution des déplacements du curseur et du nombre d'informations affichées en même temps. Dans une interface de type Pie Menu, l'utilisateur a deux façons d'activer une commande : soit par un bouton de la partie centrale du Pie Menu, soit par un bouton de la partie Extension.

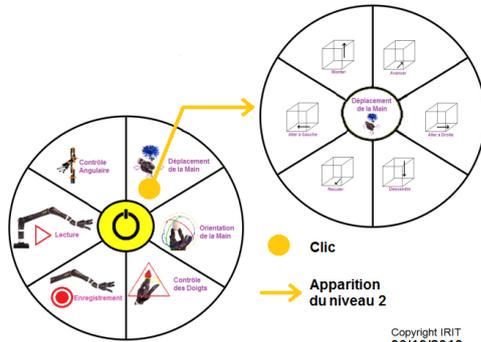


Figure 6 : Pie Menu à 2 niveaux

Copyright IRT  
30/10/2013

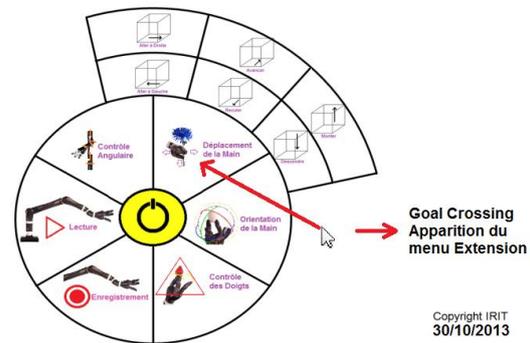


Figure 7 : Pie Menu avec extension

Copyright IRT  
30/10/2013

La Figure 6 représente un Pie Menu à deux niveaux : le passage du niveau 1 au niveau 2 se fait par un clic du dispositif de pointage sur une des zones du Pie Menu. La sélection d'une commande du niveau 2 se fait sur le même principe.

La Figure 7 représente un Pie Menu par extension : le passage du Pie Menu central vers l'affichage de l'extension se fait par un simple déplacement (que nous appellerons *Goal Crossing*<sup>1</sup>) dans la suite du rapport) du dispositif de pointage sur la zone du Pie Menu qui affiche l'extension correspondante. La sélection d'une commande sur l'extension se fait par un clic du dispositif de pointage. Nous voyons ici que deux techniques d'interaction seront utilisées dans le Pie Menu par extension (*Goal Crossing* pour le Pie Menu, premier niveau puis click de sélection pour la sélection dans l'extension).

### 3.1.2 Phases itératives de conception des trois interfaces retenues

Plusieurs améliorations ergonomiques ont été apportées aux trois interfaces virtuelles retenues à l'issue du Focus Group : structuration de l'interface par jeu de couleur pour faciliter l'identification de la fonctionnalité par membre ; ajout de boutons pour être conforme à l'interface de référence du bras Jaco ; représentation des doigts du bras Jaco pour une meilleure affordance ; travail sur les labels préférés aux représentations géométriques à cause de leur symbolique trop abstraite ; icône et label identiques pour les trois interfaces ; Ensuite, plusieurs versions successives de maquette ont été transmises par l'IRIT aux ergothérapeutes (CRF La Tour de Gassies et CMN PROPARA) dans un objectif d'accroître l'utilisabilité de ces interfaces en proposant des icônes métaphoriques.

Ces nouvelles spécifications ont été émises par les centres de rééducation et soumises à discussion pour validation lors des réunions d'audio conférences.

Depuis juillet 2014, ces trois prototypes d'interfaces sont prêts et disponibles pour l'étude clinique.

<sup>1</sup> *Goal crossing* : Technique d'interaction où l'atteinte de cible ou la validation de la commande se fait par simple passage du curseur du dispositif.

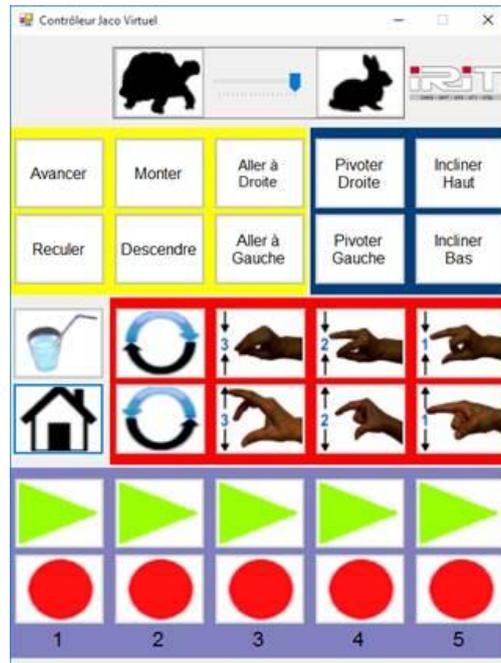


Figure 8: Interface clavier virtuel après plusieurs cycles itératifs ;Version 2.0

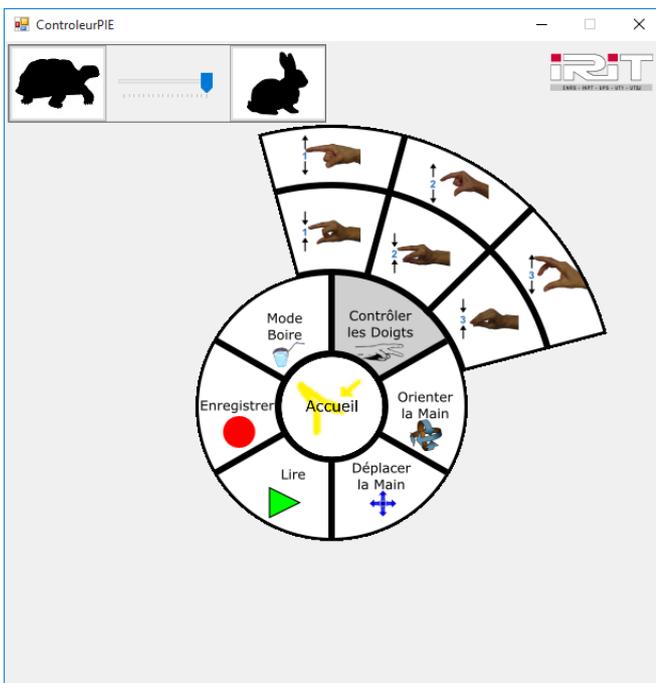


Figure 9: Interface Pie Menu ExtensionVersion 2.0

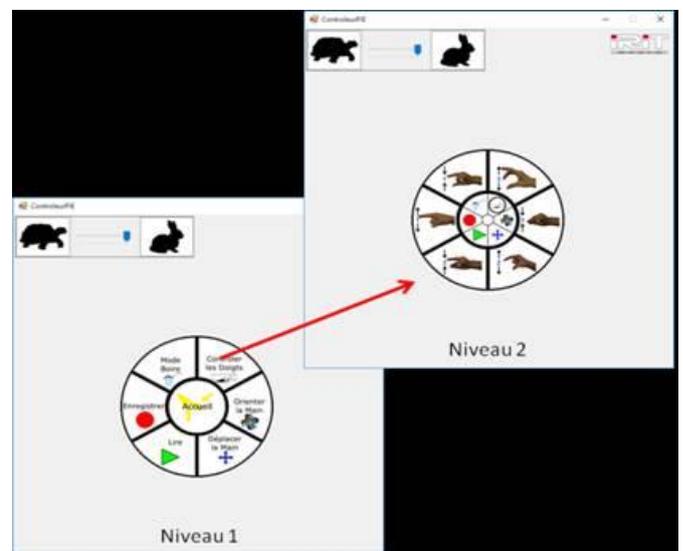


Figure 10: Interface Pie Menu NiveauVersion 2.0

Les Figure 8, Figure 9 et Figure 10 correspondent aux interfaces finales issues du cycle de conception centrée utilisateurs. Ces interfaces ont fait l'objet d'une publication à la conférence Internationale Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2014), Pologne, du 19 au 23 juillet 2014 (Pologne).

### 3.1.3 Mise en place d'une interface pour les sessions

Pour la mise en œuvre de l'étude clinique, conformément au cahier d'observation, l'IRIT a développé l'interface (Figure 11) pour la gestion des sessions, des tâches et des interfaces. Cette interface a été utilisée pour validation lors des deux études conduites à l'IRIT (voir 4).

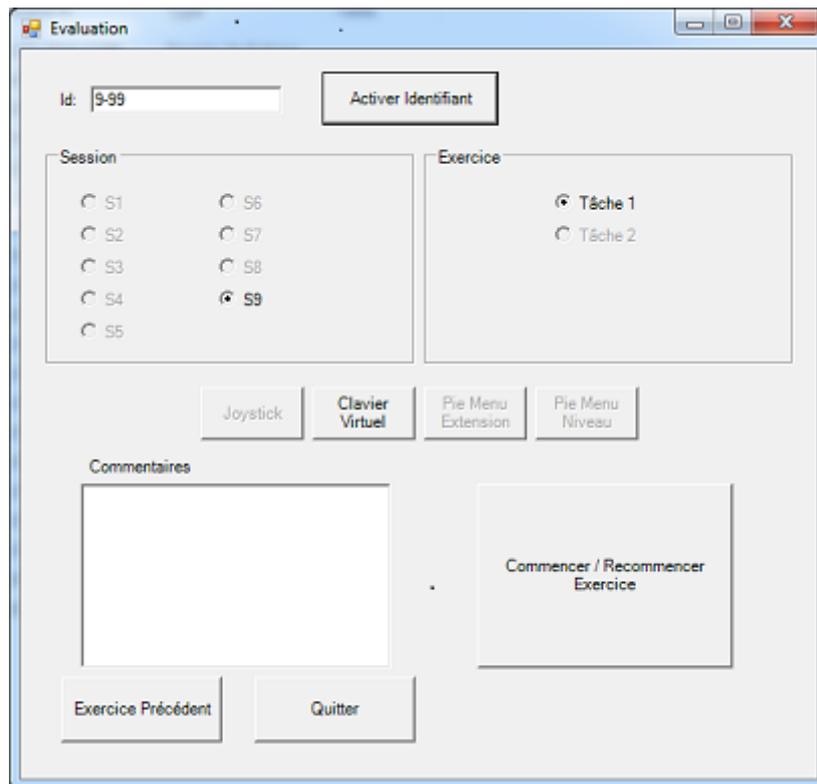


Figure 11 : Interface de configuration (session, tâche, interface)

## 3.2 La plateforme MPH

### 3.2.1 Plateforme MPH disponible au début du projet

Au début du projet, l'IRIT avait mis à la disposition du projet la plateforme MPH version 1.1 [Vella & Vigouroux, 2012] (<http://www.irit.fr/MPH/Consentement2.html>). Cette plateforme a pour objectif de permettre la réalisation d'exercices d'atteinte de cibles 1D (Figure 12) et 2D (Figure 13) de la loi de Fitts<sup>2</sup>[Fitts, 1954] en vue de modéliser les lois et les modèles psychophysiques des systèmes humains dans une tâche de pointage.

Cette plateforme intègre un consentement, un pré-questionnaire, une série d'exercices et un post-questionnaire. La plateforme MPH génère également un fichier de traces à chaque triplet (personne-dispositif-technique d'interaction). Ces fichiers contiennent des séries de triplets (coordonnées (x,y), temps (t)) de chaque action réalisée avec un dispositif (déplacement, pression et relâchement d'un bouton pour une sélection) faite par l'utilisateur. Ces traces nous permettent de déterminer les critères de jugements (temps, index de difficulté, taux de précision, etc.).

<sup>2</sup> Pour un rappel des principes de la loi de Fitts voir [Vella & Vigouroux, 2012].

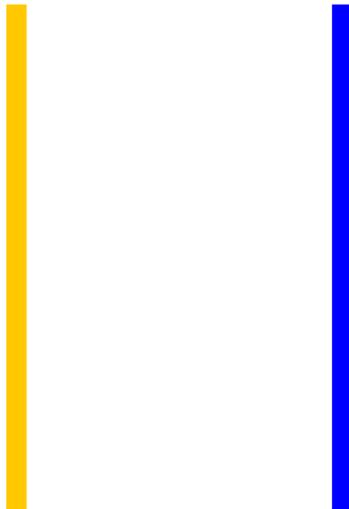


Figure 12 : Exercice à une dimension

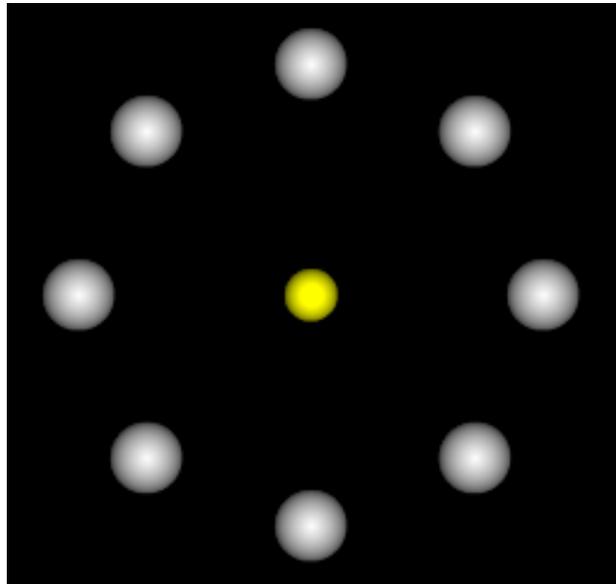


Figure 13 : Exercice à deux dimensions

### 3.2.2 Adaptation et extension de MPH à la version 2.1

Plusieurs adaptations de la plateforme MPH version 1.1 du projet ont été effectuées pour répondre d'une part, aux objectifs du projet (prise en compte de deux techniques d'interaction : pointage et *goal crossing* et d'autre part, aux demandes émises par les ergothérapeutes suite aux essais effectués (réduction de la fatigabilité des personnes en situation de handicap et du temps de passation) (voir Rapport Intermédiaire pour plus de détails). La technique de *goal crossing* a été rajoutée en vue d'études comparatives de cette technique dans un exercice dit contrôlé sur la plateforme MPH versus dans une situation libre, l'Interface Pie Menu par extension.

La plateforme MPH a donc été adaptée pour répondre :

- 1) aux situations particulières d'utilisation du participant (anonymisation du participant, formulaire de consentement, consignes)
- 2) aux besoins de configuration d'utilisation de la plateforme MPH (choix du dispositif et choix de la technique d'interaction (Figure 14) du sujet ;



Figure 14 : Choix du dispositif d'interaction pour le test MPH 2D, version 2.

### 3.2.3 Spécification de l'exercice

Conformément à la littérature et aux essais effectués par les ergothérapeutes et par des personnes en situation de handicap, un exercice pour un couple (dispositif, technique) est constitué de la séquence d'atteintes de cibles suivantes :

- Une phase d'apprentissage : soit 3 séries  $(A,W) = (128, 128)$ ;  $(A,W) = (256, 96)$ ;  $(A,W) = (384, 32)$ ; de 8 cibles réalisées deux fois consécutives. Les couples  $(A,W)$  seront tirés aléatoirement.
- Une phase de test : soit 15 séries (5 tailles de cibles  $(W)$  : 16, 32, 64, 96 et 128 ; 3 distances  $(A)$  : 128, 256 et 384) de 8 cibles réalisées cinq fois consécutivement. Les couples  $(A,W)$  sont également tirés aléatoirement.

Le participant a à cliquer successivement la cible périphérique correspondant au tirage aléatoire. Après chaque clic le curseur du positif est repositionné systématiquement au centre de l'écran.

Cette séquence de test sera réalisée deux fois avec chacune des techniques d'interaction : la sélection par pointage (Figure 15) et la sélection par « Goal Crossing » (Figure 16) également selon un tirage aléatoire.

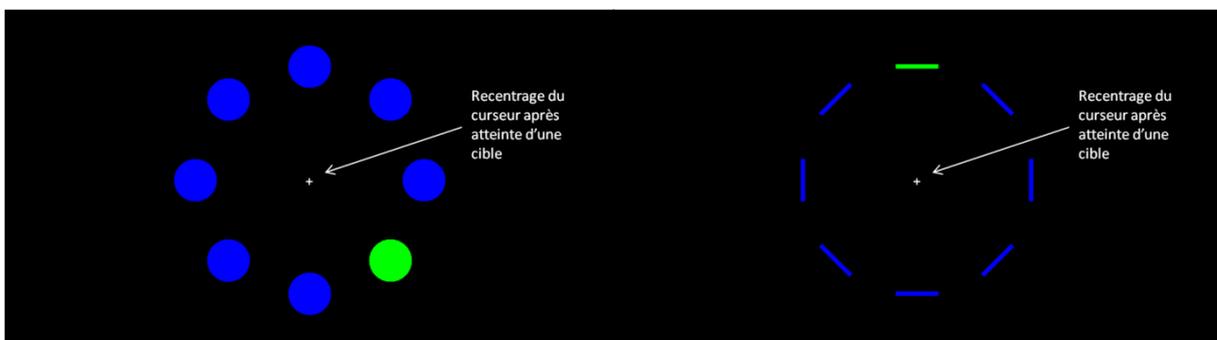


Figure 15 : MPH Version 2.1 – Pointage

Figure 16 : MPH Version 2.1 Goal Crossing

Durant l'exercice des retours visuels préviennent le sujet sur l'action réalisée sur les cibles. Ces dernières changent de couleur selon leur état par rapport à la technique d'interaction (Pointage : Tableau 1 ; Goal Crossing : Tableau 2).



Etat inactif	Etat actif	Etat lors du pointage	Etat lors de la sélection
--------------	------------	-----------------------	---------------------------

Tableau 1 : Les quatre états des cibles pour la technique du pointage, MPH Version 2.0



Etat inactif	Etat actif
--------------	------------

Tableau 2 : Les deux états des cibles pour la technique du Goal Crossing, MPH Version 2.0

Le Tableau 3 recense les Indices de Difficulté de la phase de sensibilisation (variation de 1 à 3,7) et de la phase de test (même variation de 1 à 4,6). Après discussion avec les ergothérapeutes, bien que la taille cible (W=16) pixels soit difficile à atteindre pour des personnes handicapées, elle sera conservée à des fins de comparaison de nos travaux avec la littérature.

Sensibilisation			Test		
A	W	ID	A	W	ID
128	128	1	128	16	3,169925
256	96	1,87446912	128	32	2,32192809
384	32	3,70043972	128	64	1,5849625
			128	96	1,22239242
			128	128	1
			256	16	4,08746284
			256	32	3,169925
			256	64	2,32192809
			256	96	1,87446912
			256	128	1,5849625
			384	16	4,64385619
			384	32	3,70043972
			384	64	2,80735492
			384	96	2,32192809
			384	128	2

Tableau 3 : Indice de difficulté (Sensibilisation et Test)

Cette plateforme MPH est fonctionnelle. Elle permettra de définir le couple (dispositif/ technique d'interaction) le plus adapté pour la personne en situation de handicap grâce aux critères de jugements qui seront calculés à partir des fichiers de trace (voir 2.2).

La plateforme MPH version 2.0 a été mise en œuvre sur 24 sujets sains pour comparer deux dispositifs : le touchpad et le trackball. Ceci démontre le côté fonctionnel de la plateforme MPH développé par l'IRIT pour

l'étude clinique. Ceci a donné lieu une publication, à la conférence Interaction Homme-Machine (IHM'2015) à Toulouse en vue de l'élaboration de l'algorithme de décision du meilleur dispositif.

## 4 Etude de cas

L'IRIT a procédé en avril-mai 2016 à l'évaluation des trois interfaces pour deux personnes. La première est une personne myopathe (amyotrophie spinale, participant 4-01), qui utilise quotidiennement l'ordinateur avec un trackball. La deuxième est une personne souffrant d'une paralysie cérébrale (participant 4-02) qui utilise un clavier physique avec un guide doigt. Nous ne pouvons pas donner d'informations sur les capacités fonctionnelles (MMS, test de préhension...) en l'absence d'un médecin investigateur.

### 4.1 Scénario de d'apprentissage et de test

Les deux personnes n'ont pas réussi à manipuler le bras Jaco avec le joystick comme commande de référence. Les deux personnes ont appris la manipulation du couple (interfaces virtuelles -Figure 8 ;Figure 9 ; Figure 10- et bras jaco) selon les sessions décrites dans la Table 1. La Table 3 décrit les tâches à réaliser dans les sessions d'apprentissage ou de tests. Nous avons repris les étapes d'apprentissage et de test ainsi que les tâches à réaliser du cahier d'observation défini au début de l'année 2014 avec les trois partenaires du projet (CMNP, CMPR et IRIT). L'ordre des interfaces utilisées pour commander le robot lors de la phase de test est décrit dans la Table 2.

Session 1	Joystick	App. 1 à 5
Session 2	Clavier virtuel	Appr. 1 à 5
Session 3	Pie Menu Extension	App. 1 à 5
Session 4	Pie Menu Niveau	App. 1 à 5
Session 5	Joystick	App. 6 à 10
Session 6	Clavier virtuel	App. 6 à 10
Session 7	Pie Menu Extension	App. 6 à 10
Session 8	Pie Menu Niveau	App. 6 à 10
Session 9	Toutes interfaces	Test : Exo 1 et 2

Table 1 : Déroulé des sessions

Ordre des interfaces de la session 9	
Joystick	Exo 1
Pie Menu Niveau	Exo 2
Pie Menu Extension	Exo 1
Clavier	Exo 2
Joystick	Exo 2
Pie Menu Niveau	Exo 1
Pie Menu Extension	Exo 2
Clavier	Exo 1

Table 2 : Ordre de test des interfaces

Exercice	Description des exercices
Apprentissage 1	Attraper une bouteille
Apprentissage 2	Soulever et reposer un verre
Apprentissage 3	Amener une balle vers soi et la reposer

Apprentissage 4	Attraper une carte et la jouer sur la table
Apprentissage 5	Attraper une paille et la mettre dans une bouteille
Apprentissage 6	Attraper un mouchoir, se moucher avec et le jeter
Apprentissage 7	Ramasser un cube au sol et le poser sur la table
Apprentissage 8	Verser des lentilles contenues dans une bouteille dans un verre
Apprentissage 9	Attraper une cuillère et manger 2 cuillères de lentille
Apprentissage 10	Attraper un cube sur la table et le porter vers soi et le reposer
Test : Exo 1	Attraper un verre qui contient une paille et porter la paille à la bouche
Test : Exo : 2	Attraper une bouteille au sol et la mettre sur la table

Table 3 : Tâche à réaliser

## 4.2 Critères de jugement

L'objectif principal est de quantifier l'amélioration de la facilité d'utilisation (nombre d'actions produites pour réaliser la tâche). N'ayant pas de références d'utilisation avec le dispositif joystick de référence pour ces deux participants, nous avons estimé le nombre minimum d'actions pour réaliser l'exo 1 (8) et l'exo 2 (9) de tests et ainsi déterminer le nombre d'actions supplémentaires pour réaliser la tâche. Les Table 4 et Table 5 montrent que la facilité d'utilisation est très différente pour ces deux personnes. Le sujet 4-02 est plus proche de l'utilisation optimale et ce quelle que soit le type d'interface. Il obtient cependant les meilleures performances avec l'interface Pie Menu Extension. Ce nombre élevé d'actions supplémentaires pour le sujet 4-01 s'explique par la stratégie déployée par celui-ci : à savoir, une série d'appui (stratégie de *tapping*) sur le trackball pour le déplacement du curseur en opposition à celle de la personne 4-02 qui a favorisé le maintien.

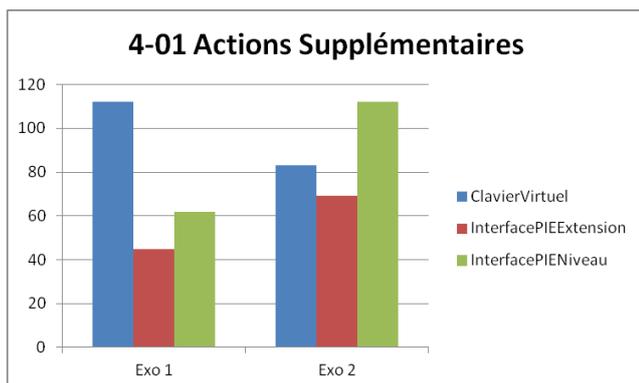


Table 4 : Actions supplémentaires 4-01

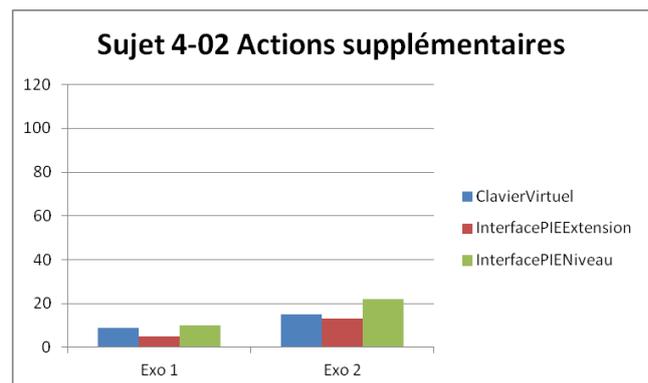
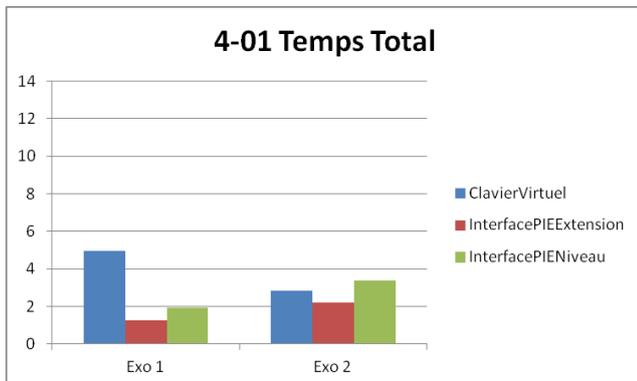
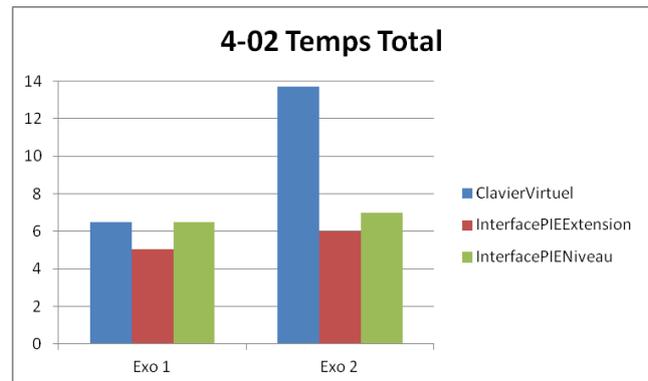


Table 5 : Actions supplémentaires 4-02

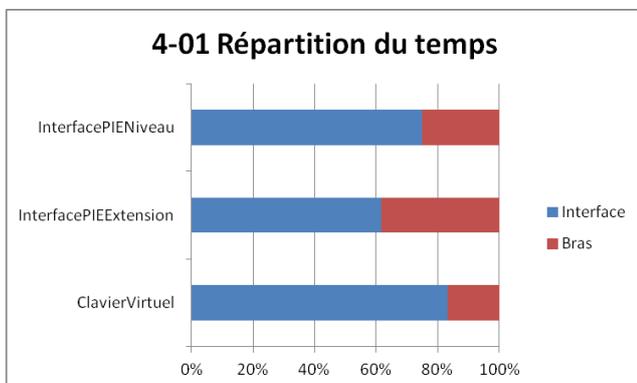
Parmi les critères de jugement secondaire, nous avons décidé de présenter le temps total de la tâche. Les Table 6 et Table 7 montrent que le temps total de réalisation donné en minutes est minimal pour l'interface Pie Menu Extension, et ce pour les deux personnes handicapées.



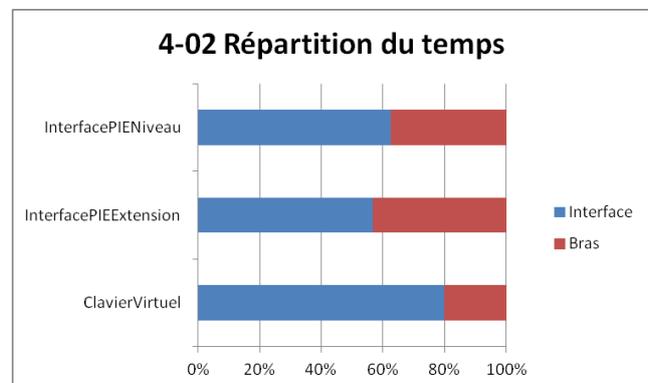
**Table 6 : Temps total 4-01**



**Table 7 : Temps total 4-02**



**Table 8 : Répartition du temps entre interface et bras**



**Table 9 : Répartition du temps entre interface et bras**

Les tables Table 8 et Table 9 illustrent la répartition entre le taux d'utilisation et le temps du déplacement du bras. Ces deux tables montrent qu'en moyenne le temps de manipulation minimal est de l'ordre de 60 %. Ce temps minimal est obtenu pour les deux personnes pour l'interface Pie Menu Extension. La répartition est sensiblement équivalente pour les deux personnes en situation de handicap. Ces deux tables montrent que l'interface Clavier virtuelle est celle qui est la plus longue en temps de manipulation.

### 4.3 Questionnaire de satisfaction

Le sujet 4-02 préfère le Clavier virtuel et le sujet 4.01 préfère le Pie Menu Extension.

Les résultats obtenus pour le sujet 4-01 ont été soumis à la conférence SOFMER2016.

Ces deux études cliniques avec deux personnes avec des pathologies différentes ont montré d'une part que la chaîne des composants logiciels (plateforme MPH, interfaces virtuelles) est robuste et d'autre part qu'une étude clinique sur une population importante avec des pathologies différentes (tétraplégie, paralysie cérébrale, sclérose en plaque, myopathie, paralysie cérébrale, sclérose latérale amyotrophique...) est nécessaire pour mesurer l'efficacité des interfaces virtuelles en fonction des situations de handicap.

## 5 Synthèse des résultats

### 5.1 Composants logiciels

- Plateforme MPH Bennetot-IRIT, version 2.0 incluant deux types d'interaction (pointage et « Goal Crossing » ;
- Interfaces visuelles Clavier Virtuel, Pie Menu Extension, Pie Menu par Extension, IRIT, Version 2.0
- Interface de configuration des interfaces virtuelles, IRIT, Version 1.0
- Outil d'analyse des fichiers XML (trace d'utilisation des interfaces), 1.0

### 5.2 Documents rédigés dans le cadre du projet

- Frédéric Vella, Nadine Vigouroux, La plateforme MPH (Modèle Processeur Humain).IRIT © 2012, Version 1.1
- Frédéric Vella, Nadine Vigouroux, Manuel d'installation et d'utilisation de la plateforme MPH dans le cadre du projet Bennetot, IRIT © 2013 Version 0
- CNM Propora, CRF La Tour de Gassies, IRIT, Rapport intermédiaire, « Conception et Evaluation d'un système d'aide à la décision pour le choix de l'interface de commande du bras robotique d'assistance à la manipulation JACO», Décembre 2013
- CENROB, Exercices d'entraînement à l'utilisation du bras Jaco-Interfaces 3 axes, Avril 2014
- CNM Propora, CRF La Tour de Gassies, IRIT, Cahier d'observation, Etude de faisabilité d'un système d'aide à la décision pour le choix de l'interface de commande du bras robotique d'assistance à la manipulation JACO, Version du 03/02/2014.
- CNM Propora, CRF La Tour de Gassies, IRIT, Questionnaire de satisfaction et d'utilité perçue du dispositif et des interfaces virtuelles du bras Jaco, Version du 03/02/2014.

## 6 Valorisation

### 6.1 Publication

- Nadine Vigouroux, Damien Sauzin, Frédéric Vella, Catherine Petit, Violaine Leynaert, Madeleine Alecki, Charles Fattal. Software interfaces of the Jaco robotic arm: results of a focus group (regular paper). Dans / In : International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2014), Pologne, 19/07/2014-23/07/2014, T Ahram, W Karwowski, T Marek (Eds.), AHFE International, p. 305-315, 2014.
- Damien Sauzin, Frédéric Vella, et Nadine Vigouroux, Damien Sauzin, Choisir le dispositif de pointage le plus performant avec le throughput, Conférence Interaction Homme-Machine, ACM, IHM'2015, 27/10 au 30/10/2015, pp. w16, 2015.
- Nadine Vigouroux, Frédéric Vella, Evaluation d'interfaces alternatives de contrôle du bras Jaco de préhension : cas d'étude par une personne myopathe, Soumis pour le congrès 13 - 15 octobre 2016 SOFMER (soumis).

## 6.2 Présentation orale

- Damien Sauzin, Frédéric Vella, Nadine Vigouroux. La plateforme SOKEYTO et interfaces virtuelles de contrôle du bras Jaco, Journées Technologies et Innovations pour les personnes en situation de handicaps, Thalès Avionics, 18 novembre 2013, Vulgarisation. 2013.
- Frédéric Vella, Nadine Vigouroux, Philippe Truillet, Damien Sauzin. Présentation du système MATT et du projet JACO, journée Sciences et handicaps : des recherches fondamentales aux défis technologiques, Muséum de Toulouse. Diffusion scientifique. décembre 2014.
- Damien Sauzin, Méthode de conception centrée utilisateur dans le domaine du handicap : application à la conception pour d'une aide de communication et de contrôle d'environnement, sa domotique, et d'interface pour le bras robotique" au CESI Labège , 16/04/2015.
- Frédéric Vella, Implication des personnes handicapées motrices dans la conception participative. Illustrations sur deux projets : interfaces de contrôle du bras Jaco et système MATT pour la communication et le contrôle d'environnement, Colloque Xème anniversaire du GIFFOCH 8-9 octobre 2015 Association IFPEK - Rennes, p. 7.

## 7 Difficultés rencontrées et solutions envisagées pour terminer le projet interrompu en juillet 2014

Plusieurs actions et initiatives ont été envisagées pour terminer le projet par E. Guettard.

### 7.1 Partenaires

- L'IRIT

Dès juillet 2015, le contact a été renoué entre l'équipe de l'IRIT et l'équipe du CENRob, Languedoc Mutualité. Nous avons d'abord échangé par téléphone, mail et avons retravaillé ensemble sur le CPP qui avait été élaboré par l'équipe du Dr Charles Fattal pour relancer au plus vite le projet.

Une première réunion a eu lieu à Toulouse le mercredi 18 novembre 2015 pour bien comprendre les enjeux scientifiques et confronter les enjeux rééducatifs et médicaux. Plusieurs points bloquants sont apparus à la lecture de ce CPP et du protocole initial et nous avons alors retravaillé conjointement les éléments importants. Des propositions concrètes ont été apportées et sont détaillées ci-dessous.

Depuis, le travail se fait conjointement entre nos équipes. Une réunion avec notre partenaire Niçois a été organisée à la Clinique Beau Soleil le 1<sup>er</sup> février 2016 (cf CR joint). La gestion des data a été organisée en vue du projet à venir (réunion téléphonique du 8 mars 2016).

Sur le plan administratif, une régularisation financière a été versée en février 2016 de Languedoc Mutualité à l'IRIT. Un accord de consortium a été préparé et sera signé conjointement dès finalisation des partenaires participants à la suite du projet.

- La Tour de Gassies

Le Dr David Goossens et l'ergothérapeute Madeleine Elicki puis Fabienne Alloucherie ont été partants pour poursuivre ce projet avec des échanges réguliers de mails jusqu'en octobre 2015. Lorsque nous avons voulu

lancer la première réunion de travail conjointe avec invitation en décembre 2015, le Dr Goossens a alors signifié que pour des raisons intrinsèques (manque d'internes et de disponibilité des professionnels) la participation au projet de recherche était remise en question et qu'il souhaitait abandonner le projet.

- Approche

Le Docteur Pauline Coignard, présidente d'Approche a été contacté par le Dr Emilie Guettard en octobre 2015. Etant donné le lien privilégié avec Approche dans ce projet, il a été proposé aux membres de l'association, de faire partie du projet JACO en devenant partenaire de la recherche c'est à dire en devenant centre d'inclusion et co investigateurs. Le Dr Coignard a répondu que la proposition avait été transmise aux membres du conseil et qu'Approche était d'accord pour intégrer le projet JACO à condition d'en être promoteur et investigateur principal. Compte tenu du travail effectué par l'équipe de Languedoc Mutualité et des assainissements financiers apportés, nous n'avons pas accepté cette proposition. Le Dr Coignard a par ailleurs assuré qu'Approche travaillerait volontiers avec le CENRob sur un autre projet.

Nous avons par conséquent, rapidement tenté de trouver d'autres partenaires de travail pour l'évaluation clinique et avons sollicité d'autres centres partenaires :

- L'Hôpital de Garches : Un accord de principe a été obtenu auprès du Pr Djamel BEN SMAÏL en novembre 2015. Après un premier contact avec Samuel Pouplin, ergothérapeute en charge de la plateforme « nouvelles technologies », nous avons un accord favorable. Secondairement, suite à un événement interne (perte d'un poste d'ergothérapeute), leur participation a été compromise faute d'effectif. Après la réunion, du 1<sup>er</sup> février 2016, il est apparu nécessaire de financer par le projet le temps de passation par un ergothérapeute extérieur aux structures centres d'inclusion. Dans ce cadre, Garches a été resollicité mais ne souhaite pas participer, en référence au positionnement d'Approche.
- Le Centre de Référence des Maladies Neuromusculaires – Sclérose Latérale Amyotrophique du CHU de Nicea été sollicité. Il est reconnu pour son expertise au niveau du diagnostic et du suivi spécifique des patients et accompagne les personnes atteintes de pathologies neurodégénératives. Le Pr Claude Desnuelle et Violaine Gui ergothérapeute ont participé à la réunion du 1er février 2016 et souhaitent participer au projet JACO.

## 7.2 Difficultés scientifiques

A partir du CPP initial et en concertation avec Nadine Vigouroux, Frédéric Vella, Damien Sauzin, Romain Martinache, Jean Pierre Daurès et Sandy Lacombe, nous avons identifié des difficultés pour lesquelles nous avons proposé des modifications:

- 1) La validation devait se faire sur 60 sujets « sains ». La passation devait s'effectuer sur l'IRIT mais il n'y a pas de médecin sur place qui peut attester de l'inclusion des personnes et cela pose un problème de responsabilité dans la recherche clinique. De plus, les sujets sains ne seront pas utilisateurs du bras JACO à terme car n'ont pas ce besoin et il apparaît donc peu logique de comparer leurs performances à celles des sujets cibles utilisateurs. La passation des sujets contrôle est donc abandonnée.

- 2) Il était proposé la sélection du meilleur dispositif de pointage grâce à l'utilisation des données obtenues sur la plateforme MPH mise au point. Hors, il apparaît logique que les performances de la personne sont très différentes si un dispositif de pointage est utilisé quotidiennement ou si elle le découvre : l'apprentissage est donc un biais majeur. Nous avons donc retiré la sélection du meilleur dispositif de pointage par la plateforme MPH. Tous les patients de l'étude passeront sur la plateforme avec leur dispositif habituel de pointage afin de recueillir ces données pour ensuite les exploiter.
- 3) Le projet a initialement été conçu pour proposer le bras JACO aux personnes tétraplégiques compte tenu des pathologies prises en charge dans les centres d'inclusion (PROPORA et la Tour de Gassies). Cette population est quantitativement restreinte et, compte tenu des modifications des centres, il nous paraît intéressant d'inclure les personnes non pas en fonction de la pathologie mais en fonction de la situation de handicap vécue. Nous avons donc choisi d'élargir la population étudiée à la population cible utilisatrice potentielle du bras JACO : patient ayant des difficultés d'utilisation des membres supérieurs pour la manipulation des objets et qui utilisent quotidiennement un fauteuil roulant électrique dont le bras JACO partage l'alimentation. Seront donc inclus, selon les centres, des pathologies très diverses : tétraplégie, paralysie cérébrale, sclérose en plaque, myopathie, paralysie cérébrale, sclérose latérale amyotrophique...
- 4) Le protocole de passation était prévu en cross over. Ce qui est testé à travers la mise au point des interfaces est l'ensemble des améliorations apportées et l'apprentissage est un élément clé. Il apparaît peu rigoureux scientifiquement de proposer cet apprentissage en cross over, même en respectant des temps de pause entre chaque exercice et en randomisant l'ordre de passation. Pour cela, il a été proposé de constituer 3 groupes en parallèle + 1 groupe contrôle. Cela augmente donc la charge de travail de passation des centres d'inclusion car 64 patients sont prévus par les calculs du Pr Daurès.

Le projet est donc un peu différent du premier mais a été réévalué de manière collaborative avec les chercheurs de l'IRIT et une autre équipe spécialisée en robotique et handicap (plateforme nouvelle technologie CHU Nice).

## 8 Proposition d'un nouveau projet

Afin de mettre en œuvre l'étude clinique qui n'a pas pu être conduite en raison des difficultés rencontrées mentionnées ci-dessus, nous avons décidé de terminer ce projet et redéposer une demande sous la direction de E. Guéttard. L'IRIT, moyennant un accord de propriété intellectuelle entre les partenaires, mettra à disposition du projet l'environnement (plateforme MPH et interfaces virtuelles) développé dans le cadre de ce présent projet.