



**HAL**  
open science

## Test préliminaire de systèmes dédiés à des utilisateurs IMC, avec induction mécanique de mouvements involontaires chez des utilisateurs non atteints

Yohan Guerrier, Janick Naveteur, Françoise Anceaux, Christophe Kolski

### ► To cite this version:

Yohan Guerrier, Janick Naveteur, Françoise Anceaux, Christophe Kolski. Test préliminaire de systèmes dédiés à des utilisateurs IMC, avec induction mécanique de mouvements involontaires chez des utilisateurs non atteints. 31e conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine (IHM 2019), Dec 2019, Grenoble, France. pp.7:1-7, 10.1145/3366551.3370346 . hal-02388853

**HAL Id: hal-02388853**

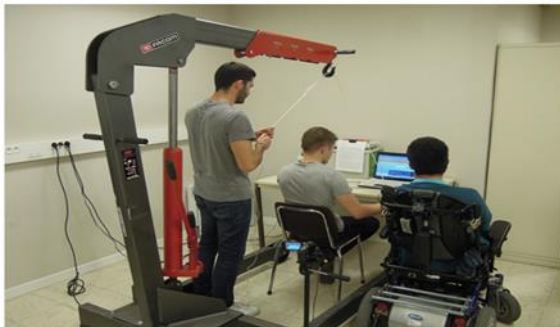
**<https://hal.science/hal-02388853>**

Submitted on 2 Dec 2019

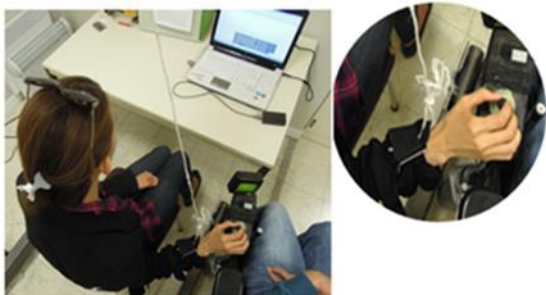
**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

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.

a)



b)



**Figure 1:** a) Vue arrière du poste expérimental, le participant est au centre, et l'expérimentateur à l'arrière actionne le système de poulie. b) Poste vue de dessus, avec une participante actionnant de joystick sur le bras du fauteuil de l'expérimentateur placé à sa droite ; dans le cercle : focus sur le bracelet lesté.

---

## Test préliminaire de systèmes dédiés à des utilisateurs IMC, avec induction mécanique de mouvements involontaires chez des utilisateurs non atteints

*Preliminary test of systems dedicated to users with Cerebral Palsy, with mechanical induction of involuntary movements in non-affected users*

Yohan Guerrier<sup>1</sup>, Janick Naveteur<sup>1,2</sup>, Françoise Anceaux<sup>1</sup>, Christophe Kolski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université Polytechnique Hauts-de-France  
LAMIH-UMR CNRS 8201  
F-59313, Valenciennes, France  
FirstName.LastName@uphf.fr

<sup>2</sup>Univ. de Lille, Département Biologie  
F-59230, Villeneuve d'Ascq, France

### ABSTRACT

*ComMob (Communication and Mobility) is a communication aid for people with motor disabilities of the CP (Cerebral Palsy) type. This software is dedicated to mobile use with installation on wheelchair. A preliminary evaluation, in the form of user tests, was carried out in the laboratory with able-bodied people with simulation of involuntary movements, which are characteristic of athetoid CP disability. This work-in-progress paper focuses on the principles of the evaluation implemented and the first results obtained. Several research perspectives are currently considered.*

---

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).

IHM '19 Adjunct, December 10–13, 2019, Grenoble, France

© 2019 Copyright is held by the owner/author(s).

ACM ISBN 978-1-4503-7027-1/19/12.

<https://doi.org/10.1145/3366551.337034>

**CCS CONCEPTS**

• **Human computer interaction (HCI)** → **HCI design and evaluation methods**; *User studies*

**KEYWORDS**

*Communication support, Cerebral Pasy, evaluation, athetosis.*

**RÉSUMÉ**

ComMob (Communication et Mobilité) est une aide à la communication destinée aux personnes handicapées moteur de type IMC (Infirmes Moteurs Cérébraux). Ce logiciel est dédié à une utilisation en mobilité avec installation sur fauteuil roulant. Une évaluation préliminaire de ComMob, sous forme de tests utilisateurs, a été effectuée en laboratoire, avec des personnes valides chez qui ont été mécaniquement induits des mouvements involontaires caractéristiques du handicap IMC de type athétosique. Ce papier de travail en cours met l'accent sur les principes de l'évaluation implémentée ainsi que les premiers résultats obtenus. Plusieurs perspectives de recherche sont envisagées.

**MOTS CLÉS**

Aide à la communication, Infirmité Motrice Cérébrale, évaluation, athétose.

**INTRODUCTION**

En France, la loi no 2005-102 du 11 février 2005 stipule que chaque personne handicapée doit être intégrée dans la société. Pour ce faire, pouvoir communiquer est fondamental. Or, certains handicaps [17] rendent la communication difficile voire impossible. Plusieurs types d'aides à la communication, notamment technologiques, visent à compenser ces difficultés.

Pour des profils utilisateurs pour lesquels il est difficile de disposer d'un nombre important de participants dans le cadre de premières évaluations de systèmes, une solution envisagée passe par une simulation des caractéristiques de ces utilisateurs. La stratégie peut aussi être utile pour mieux faire comprendre à des concepteurs les difficultés rencontrées par les utilisateurs. Ce papier s'intègre dans une recherche en cours visant des évaluations préliminaires de systèmes dédiés au domaine du handicap, avec simulation d'une ou plusieurs caractéristiques utilisateur. Il décrit une première étape dans ce cadre, consacrée à une évaluation d'une aide à la communication nommée ComMob (Communication et Mobilité), sous forme de tests utilisateurs [14]. Ce logiciel est destiné aux personnes IMC (infirmes moteurs cérébraux) [7] de type athétosiques [5].

Le papier est structuré comme suit. La première section est consacrée à un état de l'art. Celui-ci décrit d'abord des caractéristiques d'utilisateurs de profil IMC athétosique ; puis des premières tentatives d'évaluation avec simulation de caractéristique(s) utilisateur en lien avec le handicap sont recensées. Le papier résume ensuite une évaluation préliminaire de ComMob avec simulation de caractéristiques d'utilisateur IMC. Il se termine par des perspectives de recherche.

**ComMob**

ComMob a été créé durant la thèse du premier auteur de cet article, lui-même IMC athétosique [10]. Le logiciel utilise des pictogrammes [6] pour permettre aux utilisateurs de formuler des phrases simplement et rapidement. L'interface utilisateur de ComMob donne accès à plusieurs fonctionnalités. Des fonctionnalités permettent la gestion de pictogrammes selon des thèmes et catégories. Une autre permet de préparer un dialogue par avance. Une fonctionnalité permet la lecture d'un dialogue déjà préparé. Une dernière fonctionnalité apporte une aide à la programmation Java via des pictogrammes. Pour plus de détails, cf. [10].

### Mouvements involontaires

Les mouvements involontaires des personnes de profil IMC athétosiques sont dus à un dommage neurologique consécutif à un manque d'oxygène à la naissance, une crise d'épilepsie ou un traumatisme crânien. Ces mouvements sont plus ou moins importants selon le degré du handicap. La dyskinésie de l'athétose renvoie à des mouvements incoordonnés, lents et reptatoires. Peuvent s'y adjoindre des mouvements choréiques, également incontrôlables mais brusques, irréguliers et de courte durée. Les personnes souffrant de cette pathologie dans la forme la plus grave peuvent éprouver de grandes difficultés, voire une impossibilité, à manipuler des dispositifs d'interaction avec des ordinateurs (au sens large du terme), tels que les souris, joysticks, ou claviers physiques. Ceci est dû à leurs mouvements involontaires trop importants, ainsi qu'à un manque, plus ou moins important, de précision dans les mouvements.

### Aides à la communication

Depuis plusieurs années, des aides à la communication, envisageables pour des utilisateurs de profil IMC athétosique, sont proposées sur le marché et/ou présentées dans la littérature (cf. par exemple [3] [4] [11] [12] [15]). Elles étaient, en fait, initialement destinées aux personnes handicapées mentales ou physiques avec des troubles du langage. Ces aides regroupent principalement les claviers virtuels, les logiciels exploitant des pictogrammes [16], la reconnaissance vocale et les autres types de systèmes de saisie dédiés aux personnes handicapées physiques (interface cerveau-ordinateur et aides physiques).

## ÉTAT DE L'ART

**Profil d'utilisateur concerné par cette recherche.** L'infirmité motrice cérébrale peut être plastique, athétosique ou mixte. Les IMC plastiques ont des raideurs dans les membres, mais ils n'ont pas de mouvements involontaires. Ils peuvent avoir des plus gestes précis et sont moins limités en termes d'élocution que les IMC athétosiques chez qui la dyskinésie est notable, avec une grande variabilité en fonction des individus, des émotions et de la posture. Les IMC athétosiques n'ont pas de risque accru de déficits intellectuels [5] mais présentent une dysarthrie [2] provoquant des problèmes d'élocution limitant l'intelligibilité de la parole. Les personnes dysarthriques prononcent mal les mots, mais elles n'ont aucun problème pour concevoir des phrases correctes. Les aides à la communication actuellement disponibles facilitent des demandes simples comme « Je veux manger ». Mais, dans la vie de tous les jours, chaque personne a besoin de formuler des phrases beaucoup plus longues et complexes pour l'expression de demandes, sentiments, etc. L'importance d'une communication optimisée est également majeure dans divers domaines comme la médecine ou la justice.

**Evaluation par simulation de caractéristique utilisateur.** Simuler un problème moteur ou sensoriel chez des personnes qui en sont dépourvues est une stratégie qui a déjà été utilisée pour tester des dispositifs ou des prises en charges. Peuvent être évoqués par exemple, le recours à des participants momentanément privés de la vision pour tester un dispositif de guidage vibrotactile [1] ou le port d'un simulateur de vieillissement par des participants jeunes pour tester une rééducation [13].

La littérature est inexistante relativement à l'évaluation de systèmes interactifs avec simulation de caractéristiques utilisateur, de profil IMC athétosique. L'initiation d'une telle procédure, comme nous l'avons mise en œuvre dans le cadre d'une série d'évaluations préliminaires du système d'aide ComMob, est donc une démarche originale et essentiellement exploratoire.

## EVALUATION PRELIMINAIRE DE COMMOB EN SIMULANT UNE CARACTERISTIQUE DU HANDICAP IMC

Compte tenu de la difficulté à recruter des participants IMC athétosiques, nous avons confronté à l'usage de ComMob des personnes valides chez qui nous avons simulé le handicap, dans le cadre de tests utilisateurs [14].

Pour ce faire, nous induisons des mouvements incontrôlés du bras en charge de l'action sur le joystick. Si l'action sur la corde ne produit pas des mouvements reptatoires, leur amplitude et leur survenue quasi aléatoire miment approximativement ceux constatés chez le premier auteur quand lui-même est en situation d'usager. La programmation de contraintes au niveau du joystick a été écartée, notamment car elles dissocieraient parfois les mouvements du pointeur de ceux du participant. Le bras manipulé est également lesté afin d'augmenter le tonus musculaire.

### Participants

Au total, 10 volontaires ont participé à cette étude ayant aussi une visée de tests utilisateurs ; la passation de l'un d'entre eux n'a pas pu être exploitée pour des raisons techniques. Les participants (6 femmes et 3 hommes) étaient tous doctorants et ce, dans différentes disciplines. Leur âge variait entre 23 et 29 ans. Une femme et un homme étaient gauchers. Leur niveau en informatique était variable de même que leur expertise antérieure dans la manipulation d'un joystick. Aucun participant ne disposait de connaissances théoriques approfondies concernant l'infirmité motrice cérébrale, même si certains avaient pu côtoyer antérieurement le premier auteur de cet article dans le laboratoire.

### Matériel

Le matériel inclut un ordinateur portable, un joystick fixé sur le fauteuil électrique de l'auteur IMC, et un appareil permettant de faire la liaison entre ce joystick et l'ordinateur (Cf. Fig. 1a). Une caméra permet une prise de vue de l'écran d'ordinateur et une autre sert à filmer les expressions du visage du testeur. Les autres éléments visent à simuler l'infirmité motrice cérébrale. Un bracelet lesté de 1,5 kg (Cf. Fig. 1b) alourdit le bras. Le bracelet est relié à une corde, elle-même reliée par un crochet à une « girafe » placée à l'arrière de la chaise du testeur. Ce dispositif, actionné par un expérimentateur qui tire sur la corde, permet d'induire des relevés involontaires du poignet du testeur, et donc d'entraver l'usage du joystick.

### Procédure

L'intérêt principal de ce test utilisateur est de savoir si les personnes conjonctuellement placées en situation de handicap et non familiarisées avec ComMob pourront facilement utiliser ce dispositif ; il est aussi attendu que leurs jugements subjectifs sur l'utilisabilité se rapprocheront de ceux de l'utilisateur cible qu'ils ne le seraient sans entrave. Enfin, l'objectif d'un tel test est de faire ressortir divers défauts résiduels du logiciel, pouvant inclure des bugs.

L'expérience se déroule en laboratoire. Le testeur est assis sur un siège à côté du premier auteur. Le testeur manipule le joystick avec sa main droite préalablement lestée et attachée à une corde.

Les consignes orales données *a priori* sont réduites au minimum. Le testeur doit suivre un scénario décrit sur une feuille posée à côté de l'écran de l'ordinateur. Ce scénario est conçu pour obliger le testeur à effectuer un ensemble d'actions nécessitant l'utilisation de la quasi-totalité des fonctionnalités de ComMob :

- La première partie est une « tâche de communication » médiée par ComMob. D'abord, le testeur doit créer un nouveau thème, puis plusieurs catégories. Ensuite, dans chaque thème, le testeur doit insérer deux pictogrammes. À la suite de cette action, le testeur doit préparer un dialogue pour ensuite le faire lire par ComMob. À ce moment, le testeur doit lancer deux alertes. Cette partie du test se termine avec la suppression des catégories et du thème précédemment créés.
- La deuxième partie du test concerne le module « Aide à la programmation ». Le testeur doit commencer par créer un nouveau document, puis il doit insérer une boucle « for » dans le document (structure de contrôle). Ensuite, il doit insérer un code proposé par ComMob. Pour finir, le testeur doit effectuer une recherche dans le texte, puis enregistrer le document.

Aucune contrainte de temps n'est imposée aux participants. La passation se termine par un recueil de données subjectives réalisé à l'aide d'un questionnaire. Outre le fait d'observer les problèmes rencontrés en utilisant le système, il s'agit de recueillir l'avis du testeur concernant ComMob.

Le premier expérimentateur (premier auteur de cet article) reste sur son fauteuil à la droite du participant pendant toute la partie de l'expérience impliquant l'usage de ComMob et observe toutes les manipulations effectuées par le participant. À l'issue de la passation, le premier auteur évalue la passation en remplissant un questionnaire.

Les évaluations du testeur et de l'auteur se font indépendamment l'une de l'autre et les résultats ne sont pas confrontés durant la passation. Le second expérimentateur toujours en retrait, induit les mouvements involontaires en tirant sur la corde et en surveillant la passation pour noter *a posteriori* tout problème susceptible de survenir durant celle-ci. À la fin de l'expérimentation, le participant est invité à commenter librement l'expérience et il reçoit des informations complémentaires à son propos ainsi qu'à propos de l'infirmité motrice cérébrale. La durée totale d'une passation est d'environ une heure.

### Recueil et analyse de données

A partir des vidéos, une analyse de l'activité a été effectuée à l'aide du logiciel Actogram Kronos. Il permet de traiter des observations chronologiques de type code d'événement / horodatage sur la base d'une « catégorisation » effectuée par l'utilisateur en définissant au préalable un protocole de description. Ainsi, les deux phases d'utilisation de ComMob ont été analysées en référence aux différentes étapes du cahier des charges. Un relevé total du nombre de clics a également été extrait pour l'ensemble de la passation, distinguant notamment les clics aboutissants (permettant de faire progresser la réalisation de la tâche) et les clics non-aboutissants. Les clics aboutissants sont catégorisés en clics icônes et clics clavier ; l'usage des raccourcis clavier est également quantifié. Enfin, les déplacements du clavier vers les icônes et des icônes vers le clavier sont inventoriés.

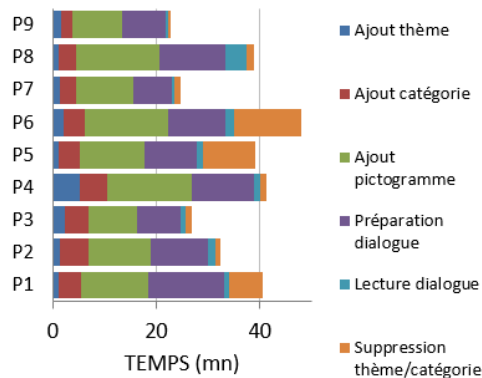


Figure 2: Durée moyenne de chacune des phases de la tâche de communication réalisée avec ComMob par des participants en situation d'infirmité motrice cérébrale simulée.

### RESULTATS

Une analyse chronométrique et des évaluations subjectives en lien avec l'usage du dispositif ont été effectuées *a posteriori* à partir des données collectées.

#### Analyse chronométrique

Celle-ci montre que tous les participants ont réussi la tâche dite de communication ; au total, ils ont mis entre 23 et 42 minutes pour compléter le cahier des charges (durée moyenne : 34 mn). La Figure 2 présente les résultats sous forme de chronogrammes individuels. Le profil temporel global est retrouvé chez tous les participants à l'exception de trois d'entre eux pour la suppression de thème/catégorie en raison de la survenue d'un bug ayant entraîné l'arrêt de ComMob (la détection de ce bug ne survenant que dans des conditions particulières étant considérée comme un résultat intéressant dans un tel test utilisateur).

Tous les participants ont réussi la tâche dite de programmation ; au total, ils ont mis entre 5,7 et 9,9 minutes pour compléter le cahier des charges (durée moyenne : 7,3 mn). Une analyse en profondeur de ces données temporelles est disponible dans la thèse du premier auteur [10].

#### Evaluations subjectives en lien avec l'usage

Placés dans une situation d'infirmité motrice cérébrale simulée essentiellement sous l'angle des mouvements involontaires, les participants invités à évaluer l'utilité de ComMob sur une échelle de 0 à 10 ont fourni une évaluation moyenne de 8,77 ( $\pm 1,1$  ; empan : 7 – 10). Invités à évaluer l'aisance de déplacement du curseur avec le joystick sans simulation de l'athétose lors d'une phase préalable de découverte du matériel, puis avec la simulation de l'athétose, les scores fournis par les participants sont respectivement 7,77 ( $\pm 1,71$  ; empan : 6 – 10) et 6,11 ( $\pm 2,71$  ; empan : 2 – 10) ; cette différence est significative ( $t(8) = 2,58$  ;  $p < .05$ ).

En tâche de communication, 4 participants font état de difficultés, toutes concernant l'ajout de pictogrammes, mais aucun d'entre eux ne se distingue par une durée plus longue pour réaliser cette tâche. En revanche, l'auteur IMC se montre plus critique que les participants concernant l'occurrence de difficultés dans la réalisation de cette tâche.

### DISCUSSION

Au travers de cette méthode d'évaluation préliminaire sous forme de tests utilisateurs, nous avons essayé de nous rapprocher le plus possible de certaines des conditions du handicap IMC athétosique, avec focus sur les mouvements involontaires.

Outre le fait que les contraintes motrices ne sont pas intégrées dans les schémas internes de l'action chez les volontaires, la modélisation n'a pas encore considéré le fait que les mouvements involontaires des personnes IMC athétosiques sont fortement reliés aux émotions.

### Amélioration de la méthode

Concernant la méthode d'évaluation que nous avons mise en place, avec introduction de mouvements involontaires, nous avons pour objectif de l'améliorer selon les étapes suivantes :

- Contacter un ou plusieurs experts spécialisés dans le handicap IMC pour optimiser la modélisation des mouvements involontaires. Pour induire des rotations articulaires, des options de type exosquelettes sont envisageables mais leur rapport coût/bénéfice doit être comparé à celui de l'option *discount usability evaluation*, que nous avons implémentée, allant dans le sens de Curtis et Nielsen [8].
- Contacter plusieurs utilisateurs IMC pour valider cette modélisation mais aussi approfondir la connaissance des ressentis et de la variabilité inter- et intra-individuelle des limitations d'usage, tout cela dans un objectif final de catégorisation des impacts en termes de précision et de fatigue.
- Faire des tests en suivant ce modèle en se rapprochant de conditions écologiques d'usage, c'est-à-dire avec des situations nécessitant des tâches réalistes entraînant des dialogues entre des personnes en situation de handicap et un ou plusieurs interlocuteurs, par exemple : achat d'un billet de transport avec une ou des connexions, demande de renseignement concernant un produit dans un rayon, écriture d'un programme Java (uniquement pour des utilisateurs programmeurs), etc.

Cependant, en première estimation, le tirage de la corde se rapproche des conditions d'occurrence constatées chez l'auteur IMC. Les contraintes motrices imposées offrent donc une base heuristique en vue d'autres expérimentations de ce type, avec des personnes valides.

A l'aide d'une telle méthode, il est possible de recueillir des premiers avis d'utilisateurs permettant d'améliorer le système interactif visé, avant de procéder à d'autres campagnes d'évaluation avec cette fois les utilisateurs cible.

### CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce papier a porté sur une démarche d'évaluation préliminaire du logiciel d'aide à la communication ComMob, au travers d'une première simulation du handicap IMC athétosique par l'intermédiaire de réalisation de mouvements involontaires à l'aide d'un système de poulies. Les participants devaient réaliser un ensemble de tâches avec ComMob, tout en étant handicapés par les mouvements involontaires provoqués par un expérimentateur.

Cette démarche a été très utile pour recueillir de premières données utilisateur et améliorer le système, avant de procéder à des évaluations avec des utilisateurs du profil visé. Les résultats obtenus sont prometteurs et il s'agit d'aller plus en profondeur dans l'analyse des résultats, avec une visée à terme de modélisation des mouvements involontaires et de leur impact en termes d'interaction homme-machine.

En termes de perspectives, il serait possible de procéder à des évaluations comparatives (utilisateurs IMC vs utilisateurs avec simulation du handicap), afin d'étudier dans quelle mesure l'évaluation avec handicap simulé permet de soulever les problèmes d'utilisabilité identifiés par les utilisateurs IMC. Une dernière perspective consisterait à utiliser ce principe pour la formation de concepteurs de systèmes interactifs afin de les sensibiliser à des caractéristiques d'utilisateurs en situation de handicap, en étant confrontés directement à celles-ci.

### REMERCIEMENTS

Les auteurs de l'article remercient l'ensemble des participants pour avoir donné de leur temps afin d'effectuer les différents tests utilisateurs, de même que les étudiants qui ont aidé à leur mise en place et à la récolte des données. Ils remercient aussi vivement Franck Poirier pour sa contribution à l'ensemble des travaux sur ComMob, de même que les relecteurs anonymes pour leurs remarques constructives.

## RÉFÉRENCES

- [1] Adame, M. R., Yu, J., Moller, K., & Seemann, E. 2013. A wearable navigation aid for blind people using a vibrotactile information transfer system. In *2013 ICME International Conference on Complex Medical Engineering*, pp. 13-18, IEEE.
- [2] Allexandre, A. 2004. Troubles de la motricité bucco-faciale et difficultés articulatoires et de parole chez l'enfant IMC: relations et intérêt d'une éducation commune et harmonieuse. *Motricité Cérébrale: Réadaptation, Neurologie du Développement*, 25(2), pp. 66-70.
- [3] Baas, M., Guerrier, Y., Kolski, C., Poirier, F. 2010. Système de saisie de texte visant à réduire l'effort des utilisateurs à handicap moteur. In: *Proceedings of the Ergonomie et Informatique Avancée Conference*. ACM, pp. 19-26.
- [4] Baker, K, Carrillo, D, & Stanton, F. 2012. 200 a day the easy way: Putting it into practice. SIG 12 Perspectives on Augmentative and Alternative Communication, pp. 125-133.
- [5] Bernardeau, C., et al.. 2017. *Comprendre la paralysie cérébrale et les troubles associés: Evaluations et traitements*. Elsevier Health Sciences.
- [6] Beukelman, D. R., & Mirenda, P. 2017. *Communication alternative et améliorée: Aider les enfants et les adultes avec des difficultés de communication*. De Boeck Supérieur.
- [7] Cans, C. 2005. Épidémiologie de la paralysie cérébrale (« Cerebral Palsy » ou CP). *Motricité Cérébrale: Réadaptation, Neurologie du Développement*, 26(2), pp. 51-58.
- [8] Curtis, B., Nielsen, J. 1995. Applying Discount Usability Engineering. *IEEE Software*, 12(1), pp. 98-100.
- [9] GAATES, Asia Pacific Broadcasting Union, et al. 2016. *Guideline on inclusive disaster risk reduction: Early Warnings and Accessible Broadcasting*.
- [10] Guerrier, Y. 2015. *Proposition d'une aide logicielle pour la saisie d'information en situation dégradée - Application à des utilisateurs IMC athétosiques dans des contextes liés au transport et aux activités journalières*. Mémoire de Doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, septembre.
- [11] Guerrier, Y., Kolski, C., Poirier, F. 2017. État de l'art sur les systèmes d'aide à la communication envisageables pour des utilisateurs de profil IMC athétosique. *Journal d'Interaction Personne-Système*, 6 (1), pp. 1-45.
- [12] Guerrier, Y., Baas, M., Kolski, C., Poirier, F. 2011. Comparative study between AZERTY-type and K-Hermes virtual keyboards dedicated to users with cerebral palsy. In C. Stephanidis, *Universal Access in Human-Computer Interaction: Users Diversity*, UAHCI 2011, LNCS 6766, Springer, pp. 310-319
- [13] Lambregts, M. C. P., Raijmakers, F. D., Ramselaar, M. S., & Toering, T. F. 2019. *Continuous monitoring of functional recovery of frail elderly people after treatment of a hip fracture, making use of the data of the monitor devices' Fitbit Charge HR and MOX, in order to optimize the rehabilitation process*. Bachelor's thesis, University of Twente.
- [14] Nielsen, J. 1993. *Usability Engineering*, Academic Press Inc.
- [15] Pouplin, S, & Cabanilles, S. 2014. *Etat de l'art des claviers virtuels*. Rapport, Hôpital Raymond Poincaré
- [16] Rondal, J.A. (1985). *Langage et communication chez les handicapés mentaux : théorie, évaluation et intervention*. Editions Mardaga.
- [17] World Health Organization. 1980. *International classification of impairments, disabilities, and handicaps: a manual of classification relating to the consequences of disease*, published in accordance with resolution WHA29. 35 of the Twenty-ninth World Health Assembly, May 1976.