Farah Arab Céline Jost Isis Truck Gérard Uzan (Eds.)

Handicap, Technologies, Autonomie, Vieillissement, Inclusion

Colloque Jeunes Chercheuses, Jeunes Chercheurs Université Paris 8-Vincennes-Saint-Denis, 8 juin 2017 Actes



Institut Fédératif de Recherche sur les Aides Techniques pour les personnes Handicapées

Éditeurs

Farah Arab Laboratoire CHArt-EA 4004, équipe THIM Université Paris 8 2, rue de la liberté – 93526 Saint-Denis cedex farah.arab04@univ-paris8.fr

Céline Jost Laboratoire CHArt-EA 4004, équipe THIM Université Paris 8 2, rue de la liberté – 93526 Saint-Denis cedex Celine.Jost@univ-paris8.fr

Isis Truck Laboratoire CHArt-EA 4004, équipe THIM Université Paris 8 2, rue de la liberté – 93526 Saint-Denis cedex Isis.Truck@univ-paris8.fr

Gérard Uzan Laboratoire CHArt-EA 4004, équipe THIM Université Paris 8 2, rue de la liberté – 93526 Saint-Denis cedex Gerard.Uzan@univ-paris8.fr

Mise en page

Maquette Farah Arab et Dominique Archambault Couverture Delphine Soriano et Vincent Bricout Camera-ready par les auteurs

Impression

QUICKPRINT 115, rue Tronchet 69006 Lyon

Gestion des soumissions

EasyChair conference system http://easychair.org

ISBN 978-2-9536899-7-6 Dépôt légal Juin 2017 © IFRATH

http://ifrath.fr

Préface

Nous sommes heureux de vous présenter les actes du quatrième colloque Jeunes Chercheuses, Jeunes Chercheurs (JCJC'2017) "Handicap, Technologies, Autonomie, Vieillissement, Inclusion", organisé par l'Université Paris 8 (l'équipe THIM du laboratoire CHArt – EA 4004) et l'IFRATH le 8 juin 2017 à l'Université Paris 8-Vincennes-Saint-Denis.

L'Institut Fédératif de Recherche sur les Aides Techniques pour les personnes Handicapées (IFRATH) a pour but de promouvoir l'apport des solutions technologiques pour l'aide aux personnes en situation de handicap, ceci en relation avec les soignants et les sujets concernés.

L'IFRATH organise des réunions thématiques trimestrielles, qui rassemblent régulièrement tous les laboratoires, étudiant-e-s et personnes concernées et, tous les 2 ans, la conférence Handicap. Deux des objectifs essentiels de l'IFRATH sont l'ouverture et l'intégration de nos jeunes, voire futurs collègues. En conjonction avec le salon "Autonomic", la conférence Handicap réunit depuis 2000 les acteurs français et francophones du domaine des Technologies d'Assistance aux personnes handicapées. L'édition 2016, "La recherche au service de la qualité de vie et de l'autonomie des personnes en situation de handicap" a réunit plus d'une centaine de participants.

Chaque colloque JCJC est l'occasion d'un prix de thèse. Ainsi, lors du colloque JCJC 2017, le prix de thèse IFRATH-KAELIS 2016, doté de $3000 \in a$ été remis à Camille Jeunet pour sa thèse intitulée "Understanding and improving mental-imagery based brain-computer interface (MI-BCI) user-training: towards a new generation of reliable, efficient & accessible brain-computer interfaces" et soutenue le 2 décembre 2016 à l'Université de Bordeaux. Camille Jeunet a réalisé ses travaux sous la direction de Bernard N'Kaoua, Fabien Lotte, Martin Hachet et Sriram Subramanian.

Le colloque JCJC s'adresse aux doctorants et jeunes docteurs qui travaillent dans le domaine des technologies d'assistance aux personnes handicapées et vieillissantes et pour leur autonomie. Il peut aussi intéresser des étudiants en Master désireux de faire de la recherche dans ces domaines. Ce colloque constitue un important lieu d'échanges scientifiques pour les étudiants et jeunes chercheurs dans le champ des Aides Techniques, ces objectifs sont de:

permettre aux jeunes chercheurs de présenter l'état de leur travaux à un panel de chercheurs expérimentés, afin de recevoir leurs critiques constructives ainsi que celles de leurs collègues;

- discuter de l'évolution du domaine des Aides Techniques, au niveau national et international;
- animer cette communauté scientifique, et en particulier de favoriser les rencontres entre les acteurs d'aujourd'hui et de demain, et d'encourager le dialogue interdisciplinaire au sein de ce domaine;
- inciter les jeunes chercheurs à présenter leurs travaux au prix de thèse de l'IFRATH;
- promouvoir la recherche dans le domaine des Aides Techniques.

De plus, le colloque JCJC contribue au développement de cette discipline scientifique en plein développement, en facilitant l'intégration de jeunes chercheuses et chercheurs au sein de la communauté naissante. Les articles présentés ont chacun été relus par 3 membres, au minimum, du comité scientifique.

Pour cette nouvelle édition du colloque, nous avons invité trois conférenciers :

- le docteur Nicolas Monmarché, Université de Tours, qui présente une étude intitulée "Voyage chez les fourmis artificielles";
- la première lauréate du prix de thèse ex aequo de l'IFRATH 2015, Dr. Coralie Villa, INI/CERAH, qui présente ses travaux sur l'appareillage de la personne amputée de membre inférieur en rééducation fonctionnelle.
- le second lauréat du prix de thèse ex aequo de l'IFRATH 2015, Dr. Yoann Bonavero, Université de Montpellier (LIRMM, CNRS), qui présente ses travaux sur l'accessibilité des pages Web.

Le colloque JCJC 2017 se déroule en parallèle du 9ème Challenge Handicap et Technologies afin de faciliter la synergie entre les participants des deux manifestations. Le challenge est organisé dans le but d'exposer des réalisations et des initiatives dans le cadre d'une compétition amicale. Il est dédié à différents acteurs : enseignants, doctorants, étudiants, lycéens, personnes handicapées, membres d'une association concernée, etc. Le but est de stimuler les initiatives de recherche et de création dans ce domaine. L'édition 2017 du Challenge Handicap et Technologies a permis d'oublier les frontières pour inclure des équipes francophones telles que celles de l'Université de Montréal et de l'Université de Sherbrooke. Elle a permis également la mise en place d'un café citoyen, un moment fort du Challenge, pour sensibiliser à la question du handicap dans notre société. L'année dernière, la thématique était "l'accessibilité de la cité". Animé par les étudiants et la cellule handicap de l'Université Paris 8, le thème de cette année est le "handicap invisible".

Nous remercions chaleureusement la CNSA, Humanis et la MAIF pour leur soutien financier ainsi que l'IFRATH et KAELIS qui parrainent le prix de thèse, et l'Université Paris 8 qui accueille la manifestation.

Jaime Lopez-Krahe, président du Comité scientifique

Farah Arab, co-présidente du Comité d'organisation Céline Jost, co-présidente du Comité d'organisation Isis Truck, membre du Comité d'organisation Gérard Uzan, membre du Comité d'organisation

Table des matières

Préface	iii vii ix
Comité Scientifique	ix ix
Voyage chez les fourmis artificielles	1
Nicolas Monmarché Recherches sur la thématique de l'appareillage de la personne amputée de membre inférieur en rééducation fonctionnelle	11
Considérer les Besoins Propres à Chaque Individu pour Améliorer l'Accessibilité des Pages Web	23
Impact de l'activité physique récente et à long terme sur le déclin cognitif lié à l'âge et effet modérateur du sexe	33
Un Serious Game Comme Nouvel Outil de Rééducation du Syndrome Dysexécutif	51
Langues alphabétiques et logographiques : tous égaux face à la dyslexique ? \dots Yingying Ge	59
Les étoiles entre nos mains : une innovation d'accessibilité handicap dans les champs associatifs et d'éducation populaire	65
Interface de lecture de cartes pour joueur malvoyants	75

Différences d'accès des widgets web rencontrées par des personnes ayant	01
différents types de handicap	81
Leticia Seixas Pereira and Dominique Archambault	07
Implant cochléaire : codage et interaction de voisinage entre les électrodes Pierre-Antoine Cucis, Christian Berger-Vachon, Eric Truy and Stéphane Gallego	87
Implantation des nouvelles méthodes et techniques dans l'apprentissage des élèves sourds et malentendants	97
Conception d'un simulateur immersif pour la conduite assistée de fauteuil roulant électrique	105
Louise Devigne, Marie Babel, Florian Nouviale, François Pasteau, Aline Baudry and Philippe Gallien	
Astro Vers Tous : Le ciel à la portée de tous	113
Astro Vers Tous : Astronomie et Surdité	117
Challenge Handicap et Technologies	123 125 126
CEPHA	127 128 129
Fabulis 3.0 : un laboratoire de pratiques numériques en ULIS FREEWheels : pédalage assisté par stimulation électrique fonctionnelle	130 131
Les étoiles entre nos mains	132
communicateur à défilement	133
dans le trouble du spectre autistique	134 135 136
Sponsors	137 143

Thèmes du colloque

Les thèmes abordés par le colloque JCJC 2017 concernent les technologies pour l'autonomie et la santé des personnes handicapées et vieillissantes, afin d'aborder la problématique de la perte d'autonomie dans toutes ses dimensions, humaines, médicales, scientifiques, techniques, sociales, culturelles et économiques. La liste et la structuration des thèmes ne sont qu'indicatives, la plupart des travaux s'inscrivant dans l'interdisciplinarité et la transversalité des approches.

- Caractérisation et modélisation des situations de perte d'autonomie
- Handicaps cognitifs
- Handicap perceptif : transmodalité, multimodalité
- Handicap moteur
- Effets du Vieillissement
- Pathologies chroniques invalidantes: Maladie d'Alzheimer, etc.
- Polyhandicap
- Technologies pour l'autonomie et la santé
- Technologies pour l'insertion et la scolarisation des élèves et étudiants handicapés (de l'école à l'université)
- Technologies d'assistance à la perception
- Technologies d'assistance à la communication
- Technologies d'assistance à la rééducation, à la stimulation
- Robotique d'assistance au déplacement, à la préhension, à la rééducation
- Orthèse, prothèse, neuroprothèse
- Interface cerveau machine
- Intelligence ambiante, maison intelligente, systèmes embarqués
- E-service: téléassistance, télévigilance, télédiagnostic, téléréhabilitation, eaccessibilité
- Réalité virtuelle pour l'évaluation et la rééducation des troubles cognitifs et moteurs
- Intégration de solutions technologiques communicantes et interopérables au service de la personne ou facilitant la tâche de l'aidant ou du professionnel de
- Autonomie des personnes âgées, maintien à domicile
- Méthodologies
- Rééducation, stimulation, apprentissage

- Conception de l'assistance prenant en compte les dimensions humaine et sociétale
- Évaluation des technologies dans leur environnement d'usage
- Psychologie, ergonomie et neurosciences
- Ergonomie des systèmes d'assistance
- Modélisation, simulation de l'humain : aspects cognitifs, psychophysiques, psychologiques
- Interactions homme-système d'assistance
- Sociologie
- Étude des usages des technologies
- Éthique
- Dimension sociale : vie publique et privée, handicap et intégration sociale, handicap et vie relationnelle, intégration scolaire, etc.

Comités

Comité Scientifique

Président

Jaime Lopez-Krahe THIM (EA 4004 CHArt), Université Paris 8

Président de l'IFRATH

Mohamed Slimane Laboratoire d'informatique, Université de Tours

Salvatore Anzalone THIM (EA 4004 CHArt), Université Paris 8 THIM (EA 4004 CHArt), Université Paris 8 Dominique Archambault

Christian Berger Vachon Université Claude Bernard-Lyon 1 LCOMS, Université de Lorraine Guy Bourhis

LAGIS, Université Lille 1 François Cabestaing

IBISC, Université d'Évry-Val d'Essonne Etienne Colle Benoît Encelle LIRIS, Université Claude Bernard-Lyon 1

Pierre Gaucher Laboratoire d'informatique, Université de Tours

Karine Gros LIS, Université Paris-Est Créteil

Céline Jost THIM (EA 4004 CHArt), Université Paris 8

Christophe Jouffrais IRIT-CNRS, Toulouse

Antonio Pinti LAMIH, Université de Valenciennes Alain Pruski LCOMS, Université Paul Verlaine-Metz

Karim Sehaba LIRIS-CNRS, Université Claude Bernard-Lyon 1

Guillaume Thomann G-SCOP, Grenoble INP

Isis Truck THIM (EA 4004 CHArt), Université Paris 8 Gérard Uzan THIM (EA 4004 CHArt), Université Paris 8

Comité d'Organisation

Co-présidentes

Céline Jost THIM (EA 4004 CHArt), Université Paris 8 Farah Arab THIM (EA 4004 CHArt), Université Paris 8

Salvatore Anzalone THIM (EA 4004 CHArt), Université Paris 8 Dominique Archambault THIM (EA 4004 CHArt), Université Paris 8 Claire Geeraerts UFR eriTES, Université Paris 8

Saber Heni THIM (EA 4004 CHArt), Université Paris 8
Jaime Lopez-Krahe THIM (EA 4004 CHArt), Université Paris 8
Adrien Morel de Villepoix THIM (EA 4004 CHArt), Université Paris 8
Elka Parvanova Service Accueil Handicap, Université Paris 8

Subha Peroumal Master Handi, Université Paris 8 Rui Rosa Master Handi, Université Paris 8

M'Ballo Seck CEREMH

Mohamed Slimane Laboratoire d'informatique, Université de Tours Isis Truck THIM (EA 4004 CHArt), Université Paris 8 Gérard Uzan THIM (EA 4004 CHArt), Université Paris 8

Voyage chez les fourmis artificielles*

Nicolas Monmarché

Laboratoire d'Informatique, Université François Rabelais, Tours, France nicolas.monmarche@univ-tours.fr

Résumé

Dans ce résumé, nous présentons la démarche qui consiste à construire des modèles algorithmiques bioinspirés puis de les adapter à des problématiques informatiques liées aux aides techniques et compensations de handicaps. Nous prendrons comme point de départ le comportement des fourmis, et, plus précisément, leurs capacités de résolution collective de leurs problèmes quotidiens. Nous montrerons quelques exemples de modélisations qui, par l'usage d'un ordinateur ou d'un robot, pourront être confrontées au besoin d'améliorer la prise en compte de divers handicaps.

1 Pourquoi les fourmis?

Du point de vue des biologistes, les fourmis représentent un exemple incontestable de succès écologique. Elles sont présentes sur Terre depuis environ 100 millions d'années, et elles sont adaptées, à travers une diversité d'espèces, à la plupart des habitats terrestres. Cependant, le nombre d'espèces de fourmis (environ 12000 connues), est étonnamment faible par rapport au nombre d'espèces d'insectes (environ un million). Le fait que toutes les fourmis vivent en société, de taille très variable car il existe des espèces vivant en groupe de moins d'une centaine d'individus à des colonies de plusieurs millions d'ouvrières, est un point clé de leur développement et leur prépondérance dans de nombreux écosystèmes.

Les tâches fondamentales, comme se nourrir, se défendre, se loger, se reproduire, sont traitées de façon collective par les fourmis. Cela signifie qu'elles possèdent des mécanismes de régulation et de communication leur permettant d'apporter une réponse collective à ces problématiques quotidiennes. A titre d'exemple de mécanisme de régulation, nous nous intéresserons à la capacité des fourmis à se répartir des tâches, ceci de façon distribuée, sans chef. Concernant la communication, nous présenterons le mécanisme des phéromones qui sont, par exemple, utilisées dans l'exploitation de ressources en nourriture.

Il y a bien évidemment de nombreuses autres caractéristiques des fourmis intéressantes à étudier, à commenter et d'écrire (Lenoir et al., 2010), mais l'intérêt du modèle « fourmi » réside aussi dans sa

^{*} Titre inspiré de l'ouvrage "Voyage chez les fourmis - une exploration scientifique" Bert Hölldobler, Edward, O. Wilson, Seuil 1996.

capacité à être facilement appréhendé par les humains : nous savons tous reconnaître une fourmi et avons une conscience de leur collectivité (probablement à cause de notre propre collectivité, qui, sur certains points comme la reproduction, peut s'avérer moins avancée...). Cela facilite donc les explications d'une transposition de ces faits naturels à une utilisation dans d'autres domaines scientifiques.

Les fourmis représentent donc un support pédagogique pratique pour transmettre de nouvelles idées. Cependant, il y a certaines croyances trompeuses. Par exemple, le mythe de la fourmi travailleuse incessante n'est pas toujours vérifié par les observations. Il ne s'agit pas non plus d'inverser sa perception pour considérer la fourmi comme définitivement paresseuse.

Cela peut s'avérer plus subtil : en particulier dans les colonies populeuses, un grand nombre d'ouvrières sont majoritairement inactives. Mais celles-ci peuvent devenir rapidement utiles et efficaces en cas de besoin. Elles sont une sorte d'armée de réserve prête à intervenir quand les conditions le justifient.

Les exemples que nous allons décrire dans cet article font partie de l'informatique bioinspirée. Cela signifie que la source d'inspiration provient des fourmis, en particulier de leurs comportements collectifs. Evidemment, ce n'est pas parce que les fourmis sont un succès écologique qu'elles sont optimales pour résoudre des problèmes informatiques. Nous noterons cependant que la nature distribuée de leurs décisions et leurs actions nous procure des modèles pertinents lorsque les problèmes abordés sont également intrinsèquement distribués.

Cet article court ne nous permettra pas d'aborder plusieurs niveaux de modélisation du comportement des fourmis et nous allons nous limiter à des exemples que nous pousserons jusqu'à la partie « applicative ». Il ne faut donc pas garder qu'une impression de simplification exagérée des fourmis comme d'un pixel se déplaçant sur un écran avec deux ou trois probabilités régissant son déplacement. En effet, comme dans toute observation du monde animal, les fourmis peuvent montrer des capacités cognitives étonnantes, même avec un million de neurones à leur disposition.

Cet article va aborder la question générale de la modélisation des comportements de fourmis, puis de leur implémentation informatique. Nous terminerons ce tour d'horizon par des exemples d'applications de ces principes bioinspirés dans le domaine de l'informatique utilisée pour améliorer la compensation du handicap.

2 Comment modéliser les fourmis ?

Dans la section précédente, nous avons mis en avant la composante collective des fourmis. Les approches de modélisation peuvent donc être présentées selon cet angle d'observation.

D'un point de vue historique, l'étude statistique des phénomènes physico-chimiques, qui apparaissent dans la matière (les particules, les molécules, etc.), sont une bonne approche pour les phénomènes que l'on observe quand de nombreux composants sont en interaction. Par exemple, le concept d'auto-organisation est pertinent pour expliquer l'apparition d'états stables dans les comportements de fourmis. D'un point de vue informatique, la modélisation de la composante collective des fourmis est moins statistique, mais plus du type « systèmes multi-agents » : le comportement d'une fourmi est décrit de façon algorithmique, et on duplique cet agent fourmi pour simuler son comportement sur un nombre important d'itérations. Cette approche algorithmmique a été adoptée par certains biologistes comportementalistes qui ont trouvé là un langage fécond (cf. les nombreux travaux de J.L. Deneubourg (Nonabeau et al., 1999)).

2.1 Le déplacement

Modéliser le déplacement des animaux est à la base de nombreuses applications. On peut tout de suite avancer quelques hypothèses simplificatrices :

- les fourmis se déplacent facilement sur le sol, sous le sol et dans les arbres. Leur environnement tri-dimensionnel peut cependant être ramené à 2 dimensions car elles ont besoin d'un support pour se déplacer;
- les choix de déplacement individuel d'une fourmi peuvent-être assez complexes selon l'usage qu'elle fait, par exemple, de sa mémoire et de sa perception. On peut éviter de rentrer dans le détail en modélisant ce processus de décision par des probabilités qui représenteront notre perception plus ou moins aléatoire du déplacement d'une fourmi;
- en réalité, les fourmis ne marchent pas toutes à la même vitesse. On néglige la plupart du temps ces variations en considérant les fourmis comme identiques.

Ces hypothèses nous permettent de construire un modèle de déplacement des fourmis qui correspondrait à un ensemble de fourmis identiques, se déplaçant aléatoirement sur une table de laboratoire.

Nous présenterons une concrétisation de ce modèle simplifié dans la section 3.

2.2 Les graphes

Le choix de déplacement dans un plan peut-être trop ouvert si l'on se concentre sur les décisions que la fourmi doit prendre à des moments précis. En effet, l'environnement n'étant pas vraiment similaire à une table de laboratoire, les fourmis subissent des contraintes et certains chemins sont naturellement imposés. Cela correspond à une structure de graphe : les arcs du graphe représentent les chemins et les sommets sont les points où les fourmis peuvent prendre des décisions. On peut considérer que certains sommets ont un rôle particulier : le nid, les sources de nourriture, etc. (voir la figure 1).

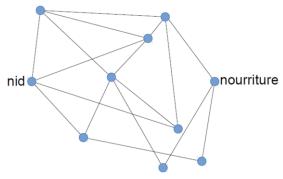


Figure 1: Graphe modélisant les chemins pouvant être empruntés par les fourmis.

Nous verrons par la suite que les graphes sont largement utilisés pour modéliser et résoudre des problèmes combinatoires (voir (Monmarché, 2016) pour une introduction plus détaillée).

2.3 L'exemple des phénomènes

Parmi les mécanismes de communication chez les fourmis qui leur permettent de résoudre collectivement des problématiques de leur quotidien, l'usage de substances chimiques volatiles (appelées phéromones) et particulièrement marquant. Ce mode de communication peut prendre plusieurs formes et peut constituer une sorte de langage chimique. De nombreuses espèces utilisent ce moyen de communication pour exploiter efficacement une source de nourriture : il s'agit d'impliquer un maximum d'ouvrières dans la collecte de nourriture. D'un point de vue macroscopique, les fourmis sont ainsi capables de trouver un chemin entre la source de nourriture et leur nid, de recruter un grand nombre d'ouvrières et de réadapter le chemin en cas de perturbation. D'un point de vue individuel, les fourmis déposent régulièrement une petite quantité de phéromones sur leur trajet. Ces phéromones attirent les autres fourmis qui, à leur tour, viennent renforcer le tracé. Plus il y a des phéromones, plus les fourmis sont attirées, plus elles trouvent de la nourriture, plus elles déposent des phéromones. Ce mécanisme est autocatalytique : il s'entretient de lui-même et s'amplifie. La limitation vient de deux mécanismes : les phéromones s'évaporent avec le temps et si la source de nourriture se tarit, les fourmis déposent moins de phéromones.

D'un point de vue de la modélisation, les phéromones peuvent être représentées par des variables numériques liées à des portions du chemin (des arcs dans un graphe) qui sont augmentées lorsque les fourmis déposent et diminuées lorsqu'elles s'évaporent.

L'intérêt de ce modèle est qu'il peut s'adapter à n'importe quelle taille de graphe et que les fourmis se déplacent simultanément. Si le graphe change (sa structure ou ses longueurs d'arcs) les chemins construits par les fourmis peuvent être reconfigurés.

La difficulté réside dans le choix des paramètres d'évolution des variables numériques. En particulier, la vitesse d'évaporation est critique car elle conditionne la longueur des chemins possiblement construits et la dynamique de réadaptation des chemins. Dans un environnement naturel, ces paramètres sont adaptés aux conditions que rencontrent les fourmis alors que dans un système artificiel, il faut régler ces valeurs pour que le mécanisme fonctionne.

2.4 L'exemple de la division du travail

Les tâches à accomplir au niveau de la colonie sont nombreuses : s'occuper du couvain, construire, chercher de la nourriture, se défendre. On peut imaginer que chaque fourmi suit le même mécanisme de décision. Cependant, l'observation montre le contraire, chaque fourmi réagit de façon différente aux stimuli. On parle de spécialisation : certaines fourmis sont dédiées à la recherche de nourriture, d'autres à l'entretien du nid. Chez certaines espèces, cela va encore plus loin car les caractéristiques physiques des fourmis conditionnent leur affectation.

Ce mécanisme d'attribution du travail, non supervisé, peut-être reproduit en affectant à chaque fourmi des seuils de réponse correspondant à chaque type de tâche. Les fourmis ayant un seuil bas pour un type de tâche donné réagiront plus rapidement si le stimulus associé à cette tâche est perçu par la fourmi. Ces seuils sont donc individuels et permettent d'adapter la force de travail des fourmis à la demande. La figure 2 montre ce mécanisme pour deux fourmis.

Cette plasticité de réaction des fourmis peut être adaptée dans le temps : les seuils de réponse des fourmis peuvent évoluer en fonction de leur âge, capacité et expérience.

2.5 Le parallélisme et la distribution spatiale

Les deux caractéristiques fondamentales des modèles de fourmis sont les suivants : les fourmis agissent simultanément et à des endroits différents. Présenté de cette façon, cela paraît une évidence... mais du point de vue informatique (on pourrait aussi dire « computationnel », au sens calculatoire), cela implique beaucoup de choses. Telles que nous avons présenté les modélisations, elles peuvent être implémentées dans un ordinateur : un algorithme de simulation calcule les décisions des fourmis les unes après les autres et opère les modifications des variables dans une mémoire commune. Cela est suffisant pour étudier les mécanismes et l'influence des paramètres sur la survenue ou non d'un phénomène tel que la construction de chemins dans un graphe.

Cependant, cette façon de procéder ne peut tirer parti des deux caractéristiques : le parallélisme et la distribution spatiale. Il faut aller chercher du côté de la robotique ou des réseaux informatiques pour avoir les conditions permettant d'exploiter les compétences des fourmis.

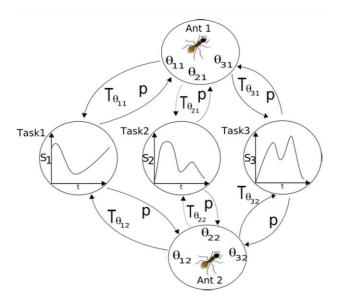


Figure 2: Deux fourmis qui peuvent choisir des tâches à réaliser selon l'évolution des stimuli S_i associés à chaque tâche et de leur seuils de réponses à ces tâches θ_{ii} .

Comment mettre les fourmis dans un ordinateur ?

Une fois le comportement des fourmis modélisé, il peut être copié, simulé pour résoudre des problèmes éloignés de ce que les fourmis font réellement. Par exemple, la modélisation des déplacements et de l'exploitation d'une source de nourriture a été transposée assez rapidement pour tenter de résoudre des problèmes combinatoires dont une solution s'apparente également au parcours dans un graphe. L'exemple emblématique est le problème du voyageur de commerce (PVC) : il s'agit de trouver le plus court chemin qui passe par un ensemble de villes (donc des sommets d'un graphe) tout en minimisant la longueur de trajet totale. L'analogie avec les fourmis est assez directe. Il s'agit là d'un problème d'optimisation combinatoire largement étudié (Dorigo et al., 2004).

Les fourmis artificielles dans un ordinateur, si elles sont utilisées pour résoudre des problèmes d'optimisation tel que le PVC, cela n'est pas très démonstratif : on ne montre pas les fourmis bouger, déposer des phéromones et finalement trouver le plus court chemin. Afin d'expliquer comment on simule les phéromones sur ordinateur, nous avons construit au début des années 2000 un programme graphique qui modélisait simplement le mouvement des fourmis à l'écran. Chaque fourmis est représentée par un pixel et se déplace avec trois probabilités : une probabilité de tourner à gauche, à droite et tout droit. Pour montrer les phéromones et leur analogie avec les odeurs, nous avons utilisé des couleurs qui pouvaient être mélangées selon les trois composantes utilisées sur les écrans (rouge, vert et bleu). Les fourmis se déplacent toutes à la même vitesse et laissent une trace de phéromones sur les pixels qu'elles empruntent. Elles perçoivent les couleurs des pixels qui sont proches d'elles et sont influencées par une couleur, c'est-à-dire une phéromone, qui les attirent. Quand on laisse travailler plusieurs fourmis sur l'écran, chacune avec des caractéristiques de mouvement différentes,

on obtient un tableau en perpétuelle évolution, où les couleurs se mélangent et se concurrencent selon les paramètres donnés aux fourmis.

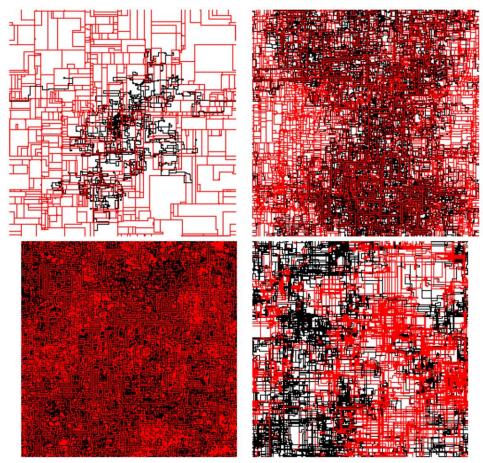


Figure 3: Quatre exemples de peintures de fourmis qui utilisent des fourmis rouges et noires. Les différences sont dues à l'instant choisi et aux paramètres de déplacement retenus.

Initialement, ce programme de simulation visuel n'était qu'un petit projet amusant dont le but était simplement de pouvoir montrer comment « on pouvait mettre des fourmis dans un ordinateur ». Mais nous nous sommes rendus compte que le paramétrage des fourmis pouvait donner des tableaux très variés, tant par les couleurs et leurs mélanges que par les formes construites. Les images produites, une fois imprimées en grand format ont très souvent suscité de l'intérêt chez un public très large (c'est -à- dire beaucoup plus large que les amateurs de simulation de fourmis sur ordinateur). Un peu par hasard, nous avons produit un algorithme d'art génératif.

Cet exemple est représentatif : sans préméditation, en tentant de répondre à une question de vulgarisation scientifique, nous avons développé un concept artistique (la génération de peintures par des insectes collectifs simulés qui s'inscrit dans un cadre plus large de l'art génératif (Monmarché, 2014)) qui induit des questions scientifiques (Peut-on prévoir le résultat ? Comment mesurer la complexité des images produites ? Comment aider l'utilisateur à construire un paramétrage qui génère une image qui l'intéressera (Aupetit et al., 2003) ? etc. et qui pourrait avoir des développements industriels (aide à la conception innovante de nouvelles textures pour des tissus, des revêtements de sols, etc.).

4 Contributions des fourmis dans le domaine du handicap

Dans cette dernière section, nous allons présenter des applications et adaptations des principes précédemment exposés à des problématiques liées au handicap.

4.1 Comment les fourmis peuvent fournir une intelligence artificielle adaptée aux joueurs de tout âge, y compris ceux qui présentent une déficience visuelle

Dans ce travail (Sepchat et al, 2008), nous avons adapté le mécanisme de régulation du travail chez les fourmis (voir la section 2.4) pour résoudre un problème de configuration de joueur artificiel. Le mécanisme des seuils de réponse des fourmis a été transposé dans un jeu ou l'adversaire du joueur humain est multiple, d'où l'idée des fourmis, et doit s'adapter à la dextérité du joueur afin de lui garantir un plaisir de jeu stimulant. Cette préoccupation est générale dans les jeux vidéos mais elle devient indispensable lors que des jeunes joueurs déficients visuels utilisent un terminal braille pour jouer au même jeu que leurs camarades standards.

La figure 4 montre la partie visuelle du jeu et sa traduction en braille. Les clients (à droite de l'image) correspondent à des fourmis et réagissent selon des seuils de réponse adaptatifs aux actions du joueur (serveuse à gauche de l'image).

D'un point de vue calculatoire, le modèle des fourmis n'est pas particulièrement justifié (d'autres mécanismes de réglage des paramètres seraient tout aussi efficaces) mais cette exemple sert de « preuve de concept » pour montrer que l'intelligence collective des fourmis peut introduire des concepts d'intelligence artificielle innovante dans la conception des personnages non joueurs des jeux vidéo.



Figure 4: Jeu avec interface braille (à gauche) et personnages non joueurs (les clients à droite) qui réagissent selon le modèle de division du travail des fourmis.

4.2 Des outils d'art génératif inspirés des fourmis pour faciliter l'accès à l'art pour des personnes en situation de handicap

Dans la section 3 nous avons utilisé les fourmis et les phéromones pour dessiner. Nous avons incorporé cette méthode de dessin dans un prototype d'outil de dessin accessible (Clair, 2010) mais ce n'est pas le seul domaine artistique qui nous a inspiré pour y inviter les fourmis.

Nous nous sommes aussi intéressés à la génération de musique. Le principe est simple : les fourmis se déplacent dans un graphe, comme évoqué précédemment, mais les sommets représentent des éléments musicaux (note, instrument, rythme). Les fourmis construisent des chemins qui sont traduits en mélodies (la figure 5 résume la situation). Les résultats sont assez répétitifs et abstraits mais suscitent la curiosité de l'auditeur.

L'apport pour les personnes en situation de handicap s'est concrétisé par la conception d'outils informatiques de création artistique comportant des systèmes de production d'art génératif. C'est ainsi qu'un programme « instrument de musique virtuel » a été conçu, développé et évalué pour expérimenter ces idées. Il s'agit d'un logiciel accessible permettant de jouer de la musique interactivement. Cet outil, basé sur un algorithme de colonie de fourmis artificielles, est ainsi doté d'un système génératif lui permettant d'improviser en collaboration avec l'utilisateur (Clair, 2013).

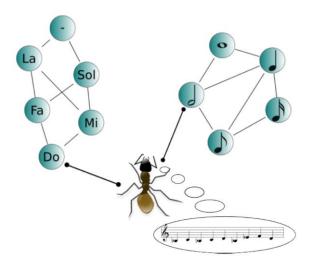


Figure 5: Musique générée par des fourmis : ici la fourmi se déplace simultanément sur un graphe des notes et un graphe des durées pour construire une mélodie.

4.3 Optimisation de la disposition des touches d'un clavier virtuel par un algorithme de fourmis artificielles

Ce projet vient directement d'un travail antérieur (Eggers et al., 2003) où des chercheurs ont travaillé sur l'optimisation de la position des touches de claviers informatiques en utilisant des graphes, des phéromones et des fourmis artificielles. A notre humble avis, essayer de modifier les claviers que tout le monde utilise sans trop souffrir, cela n'a pas beaucoup de chance d'aboutir. Par contre, optimiser les claviers pour des personnes qui ne peuvent pas utiliser un clavier standard et qui souffrent rapidement de fatigue, cela nous paraît plus pertinent (Colas et al., 2007).

A cette occasion, nous avons pu étudier finement l'influence des phéromones sur le travail d'optimisation que l'on attendait des fourmis.

4.4 Amélioration du web pour les personnes en situation de handicap visuel

Internet et l'accès au Web pour les personnes en situation de handicap est une aubaine mais peut également se transformer en souffrance ou du moins en frustration. Nous avons ainsi utilisé les mécanismes d'optimisation des fourmis sur un graphe pour améliorer, c'est-à-dire simplifier, la structure des sites web pour que les personnes souffrant de déficit cognitif ou bien perceptive puissent parcourir les sites de grande taille sans se perdre dans leur structure (Colas et al., 2008).

Nous avons également abordé un autre aspect des difficultés rencontrées sur le Web : la perception des couleurs. La problématique de trouver un réechelonnage des couleurs pertinent et adapté aux difficultés de perception des couleur (qui peuvent varier de façon importante d'un individu à un autre) a été abordé sous la forme d'un problème d'optimisation traité avec des algorithmes basés sur le comportement de fourmis (Mereuta et al., 2014).

5 Perspectives

L'utilisation de modèles bioinspirés, tels que les fourmis artificielles, ouvre des pistes pour la résolution de problème au sens large. Si ces problèmes sont liés à des préoccupations de compensation de handicap, et qu'ils peuvent être formulés sous la forme de problème d'optimisation, alors les modèles à base de phéromones et de graphes sont maintenant assez faciles à explorer.

Si on veut voir plus loin, il y a des aspects liés aux aides techniques qui pourraient tirer parti des observations des fourmis. Par exemple, un point crucial de tout système permettant de compenser un déficit d'autonomie est sa fiabilité. Si le système ne répond plus, la personne qui en dépend n'a généralement aucune solution pour s'affranchir de cette défaillance. Chez les fourmis, nous l'avons présenté, il y a des mécanismes qui permettent à une colonie de répondre à un problème rapidement. On retrouve cette caractéristique de robustesse dans les systèmes robotiques collectifs : quand un robot tombe en panne, le reste du groupe peut compenser cette défaillance. Il ne reste plus qu'à transposer ces systèmes bioinspirés collectifs à des systèmes de compensation du handicap pour en mesurer le gain en termes de fiabilité et d'adaptabilité à des situations imprévues.

Références

Aupetit, S., Bordeau, V., Monmarché, N., Slimane, M., Venturini. G. (2003). Interactive Evolution of Ant Paintings. In IEEE Congress on Evolutionary Computation, volume 2, pages 1376-1383, Canberra, 8-12 december 2003. IEEE Press.

Bonabeau, E., Dorigo, M., Theraulaz, G. (1999). Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems. Oxford University Press, New York.

Clair. R. (2010). Etude de méthodes de production d'art génératif et de leur application pour la conception d'outils de création artistique accessibles. PhD thesis, Université de Tours.

Clair, R., Monmarché, N., Slimane, M. (2013). Vers des outils de création artistique accessibles inspirés des fourmis. Technique et science informatiques, 3-4:313-337.

Colas, S., Monmarché, N., Gaucher, P., Slimane, M. (2007). Artificial ants for the optimization of virtual keyboard arrangement for disable people. In Nicolas Monmarch_e, ElGhazali Talbi, Pierre Collet, Marc Schoenauer, and Evelyne Lutton, editors, Evolution Artificielle, 8th International Conference on Artificial Evolution, volume 4926 of Lecture Notes in Computer Science, pages 87-98. Springer, Tours, France, October 2007. Selected revised papers.

Colas, S., Monmarché, N., Slimane, M. (2008). Génération de plan de site web pour les nonvoyants par des fourmis arti_cielles. Revue d'Intelligence Artificielle (RIA), Numéro Spécial Métaheuristiques, 22(2):137-159, April 2008.

Dorigo, M., Sützle, T. (2004). Ant Colony Optimization. MIT Press, Cambridge, MA, USA.

Eggers, J., Feillet, D., Kehl, S., Wagner, M-O., Yannou, B (2003). Optimization of the keyboard arrangement problem using an Ant Colony algorithm. European Journal of Operational Research, 148(3):672-686, August 2003.

Lenoir, A., Monmarché, N. (2010). From real ants to artificial ants. In Nicolas Monmarché, Frédéric Guinand, and Patrick Siarry, editors, Artificial Ants: from collective intelligence to real life optimization and beyond, chapter 1. ISTE - Wiley.

Mereuta, A., Aupetit, S., Monmarché, N., Slimane, M. (2014). An evolutionary approach to contrast compensation for dichromat users. In Pierrick Legrand, Marc-Michel Corsini, Jin-Kao Hao, Nicolas Monmarché, Pierre Collet, Evelyne Lutton, and Marc Schoenauer, editors, Artificial Evolution, 11th International Conference, EA 2013, Bordeaux, France, October 21-23, 2013. Revised Selected Papers, number 8752 in Lecture Notes in Computer Science, pages 239-250. Springer.

Monmarché, N. (2014). Swarm art gallery: Virtual ant paintings. Leonardo, 47(1):8-16.

Monmarché, N. (2016). Artificial ants. In Patrick Siarry, editor, Metaheuristics, pages 179-202.

Sepchat, A., Clair, R., Monmarché, M., Slimane, M. (2008). Task division in ants for better game engines: a contribution to game accessibility for impaired players. In G. Rudolph, Th. Jansen, S.M. Lucas, C. Poloni, and N. Beume, editors, Parallel Problem Solving from Nature - PPSN X, volume 5199 of Lecture Notes in Computer Science, pages 961-970. Springer Berlin / Heidelberg, Dortmund, Germany, September 13-17.

Recherches sur la thématique de l'appareillage de la personne amputée de membre inférieur en rééducation fonctionnelle

Coralie Villa^{1,2}, Joseph Bascou^{1,2}, Isabelle Loiret³, Noel Martinet³, Pascale Fodé¹, Xavier Bonnet², Hélène Pillet²

Résumé

Suite à une amputation de membre inférieur la prise en charge de la personne est réalisée par une équipe pluridisciplinaire qui lui propose un appareillage par prothèse et une rééducation fonctionnelle associée. Afin de soutenir l'innovation dans la rééducation fonctionnelle lors de l'appareillage, des recherches sont menées pour identifier des données quantitatives cliniquement pertinentes, développer et valider des nouveaux outils et méthodes permettant d'apporter de nouvelles données quantitatives, et utiliser les données quantitatives d'intérêt clinique pour décrire et créer de la connaissance. Particulièrement les travaux de recherche sont axés sur la caractérisation de la suppléance fonctionnelle (locomotion, équilibre et transferts) dans le couple « patient-prothèse » et sur la gestion de l'interface dans l'interaction du couple « patient-prothèse ». Cet article présente des exemples de travaux et les perspectives sur cette thématique de recherche.

1 Introduction

L'amputation de membre inférieur a un impact définitif sur les capacités locomotrices d'une personne, réduisant considérablement son autonomie dans la vie courante (Samuelsson et al. 2012). En France, les cas d'amputation majeure sont estimés en 2012 entre 90 000 et 100 000 avec une incidence de 8300 nouveaux cas par an (entre 2010 et 2012). Dans 99% des cas, les amputations majeures concernent des amputations transfémorales, transtibiales ou des désarticulations de genou. Les étiologies d'amputation sont vasculaires, traumatiques, congénitales ou d'origine tumorale. Le vieillissement de la population et les problèmes de santé liés à l'obésité, au diabète et aux maladies

¹ Institution Nationale des Invalides, Centre d'Etude et de Recherche sur l'Appareillage des Handicapés, Créteil, France.

² Arts et Métiers ParisTech, Institut de Biomécanique Humaine Georges Charpak, Paris, France.

³Institut Régional de Médecine Physique et de Réadaptation, UGECAM Nord-Est, Nancy, France coralie.villa@invalides.fr

vasculaires pourrait contribuer, dans les années à venir, à augmenter la prévalence des amputations d'étiologie vasculaire.

Après l'amputation réalisée par un chirurgien orthopédique ou vasculaire, les patients sont pris en charge par une équipe clinique pluridisciplinaire composée de médecine de médecine physique et réadaptation (MPR), masseurs-kinésithérapeutes, orthoprothésistes, ergothérapeutes et moniteur d'activités physiques adaptées. Leurs premiers objectifs sont de permettre le retour à domicile de la personne tout en lui garantissant une qualité de vie suffisante. Dans la prise en charge globale de la personne amputée, coordonnée par le médecin MPR, s'inscrivent la gestion des douleurs, la cicatrisation, la gestion des troubles trophiques (plaies, œdème...), ainsi que les aspects psychologiques et évidemment la rééducation fonctionnelle.

La rééducation fonctionnelle s'attache à réduire et suppléer la perte de la fonction induite par l'amputation touchant l'équilibre, les transferts et les activités locomotrices (Hafner & Sanders 2014). Aussi, lorsque ses capacités physiques le permettent, un appareillage avec une prothèse est proposé à la personne amputée. Pour atteindre les objectifs de capacités fonctionnelles et de qualité de vie, quatre étapes en boucle fermée sont nécessaires :

- Le choix du matériel prothétique : le patient est appareillé avec des composants prothétiques qui doivent restaurer les fonctions des articulations manquantes (cheville, genou) en l'absence d'une partie du contrôle proprioceptif et musculaire,
- La réalisation de l'interface membre résiduel / prothèse : l'orthoprothésiste réalise une emboîture moulée sur le patient, dont le confort et l'absence de douleur sont déterminants pour l'utilisation de la prothèse,
- Les réglages de la prothèse : l'orthoprothésiste réalise l'alignement de la prothèse, défini comme le réglage de la prothèse par rapport à l'emboiture et aux articulations du patient dans les différents plans pour une hauteur de talon donnée,
- La rééducation sans et avec prothèse : les médecins MPR et kinésithérapeutes encadrent l'apprentissage, l'accroissement et le maintien des capacités physiques et fonctionnelles des patients. Elle inclut entre autres le renforcement musculaire, la lutte contre les déficits d'amplitudes articulaires, l'apprentissage du contrôle et de l'utilisation des spécificités du matériel prothétique et la détection et correction des défauts de marche.

Ces étapes sont interdépendantes et la réussite de l'une dépend de la réussite des autres. Le matériel prothétique choisi et la rééducation associée sont adaptés en fonction de la personne amputée, de son projet de vie, de son environnement quotidien et de son niveau d'activité. Au final, c'est le couple capacité physique / appareillage qui déterminera le niveau fonctionnel et l'autonomie du patient.

Après un séjour en centre de rééducation 87,9% des patients rentrent à domicile. Cependant, alors que 56 à 97% des patients remarchent, seulement 26 à 62% d'entre eux peuvent marcher dehors, en situation écologique (Sawers & Hafner 2013). De plus, lorsqu'on s'intéresse à la locomotion de la personne amputée de membre inférieur, nombreux sont les travaux qui décrivent leurs limitations et compensations fonctionnelles lors de la marche : défauts et boiteries, asymétries, coût métabolique élevé, vitesse réduite, chutes et trébuchements, difficultés en terrains irréguliers et contraignants, forte demande cognitive, équilibre réduit, etc. (Drevelle et al. 2014; Miller et al. 2001; Nolan et al. 2003; Sawers & Hafner 2013; Smith et al. 2002; Villa et al. 2016). Ces compensations entraînent des comorbidités associées telles que douleurs, plaies, et à plus long terme arthrose, douleurs lombaires et articulaires (Gailey et al. 2008). Ces difficultés de déambulation et comorbidités associées peuvent allonger les temps de prise en charge hospitalières des personnes et les coûts.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la recherche conduite à l'INI-CERAH (Institution Nationale des Invalides Centre d'Etude et de Recherche sur l'Appareillage des Handicapés) sur l'appareillage des personnes ayant subi une amputation majeure de membre inférieur. Elle est menée en étroite collaboration avec chercheurs en biomécanique et cliniciens, pour contribuer au retour à domicile des personnes amputées avec une autonomie accrue. Cette recherche a pour objectif de soutenir l'innovation dans la rééducation fonctionnelle lors de l'appareillage via des données quantitatives (Hafner & Sanders 2014). En fonction du besoin clinique, cette recherche consiste à identifier les données quantitatives cliniquement pertinentes, développer et valider des nouveaux outils et méthodes permettant d'apporter de nouvelles données quantitatives, et à utiliser les données quantitatives d'intérêt clinique pour décrire et créer de la connaissance (Cutti et al. 2015; Drevelle et al. 2014; Hafner & Sanders 2014; Villa et al. 2016). Les deux grands axes de recherche sont :

- La caractérisation de la suppléance fonctionnelle (locomotion, équilibre et transferts) dans le couple « patient-prothèse ».
- La gestion de l'interface dans l'interaction du couple « patient-prothèse ».

Dans le premier axe, plusieurs finalités sont recherchées. Tout d'abord, un travail est mené pour décrire les fonctions restaurées par les différents composants prothétiques commercialisés au regard de leur utilisation par le patient. Sa finalité est d'aider le médecin MPR dans la prescription lors du choix des composants prothétiques (Hafner 2005; van der Linde et al. 2004). Ensuite, et surtout, plusieurs travaux sont menés pour décrire les défauts de marche (qualité) et les capacités fonctionnelles (quantité) d'un patient appareillé pendant sa rééducation fonctionnelle. Leur finalité est de soutenir la rééducation associée à l'appareillage (Cutti et al. 2015; Hafner & Sanders 2014; Pillet et al. 2016).

Dans le second axe, les recherches s'articulent autour du travail de l'orthoprothésiste qui réalise l'emboiture et règle la prothèse. Des travaux sont menés d'une part pour quantifier les efforts et déformations à l'interface entre le membre résiduel et l'emboiture et d'autre part pour recenser les

Les recherches conduites dans le premier axe, concernant la description de la suppléance fonctionnelle lors de la locomotion, seront détaillées dans cet article.

2 Matériel et Méthodes

En plus d'une étroite collaboration pluridisciplinaire entre ingénieurs chercheurs, cliniciens, ces recherches sont conduites grâce à la participation volontaire de personnes amputées et non-amputées, et via des moyens expérimentaux et des modélisations numériques permettant d'extraire des paramètres biomécaniques de la déambulation, données quantitatives utiles aux cliniciens

2.1 Moyens expérimentaux

La description de la suppléance de la fonction passe par la mesure du mouvement et des efforts pendant la locomotion. Deux types de moyens expérimentaux sont utilisés (Figure 1) :

Un système optoélectronique de capture du mouvement comportant des caméras émettant/recevant des rayons infrarouges (Vicon, V8i, 100Hz) permettant de mesurer la position 3D de marqueurs réfléchissants placés sur les sujets. Ces caméras sont synchronisées avec des plateformes de force mesurant les 6 composantes des actions mécaniques de réaction du sol (AMTI, 1000Hz). Ce système est appelé système d'analyse quantifiée de la marche (AQM) et fait référence en termes de précision et répétabilité des mesures (Della Croce et al. 2005). Pour simuler la vie quotidienne, différentes situations de locomotion (plat, pentes, escaliers, dévers) sont reproduites dans le laboratoire AQM et instrumentées avec les plateformes de force (Pillet et al. 2014).

- Des capteurs embarqués de type accéléromètre gyroscope pour mesurer le mouvement et de type contrainte-déformation pour mesurer les efforts et moments. Sont utilisées notamment des centrales inertielles (MTw, XSens) mesurant accélérations et vitesses angulaires en 3D et des semelles de pression mesurant la composante normale de la résultante des efforts de réaction du sol. Ces capteurs embarqués permettent de se placer en situation écologique, une fois leurs données validées par rapport à la référence AQM (Rouhani et al. 2012; Mariani et al. 2013).
- Récemment, des semelles de pression (Novell) permettent de mesurer en ambulatoire les pressions plantaires, mais aussi d'extraire des paramètres de marche tels que la cadence, le nombre de pas. Ces semelles introduisent aussi la possibilité de présenter un biofeedback au patient sur sa symétrie d'appui.



Figure 1 : Illustration des moyens expérimentaux

2.2 Population

Les personnes volontaires ayant participé aux mesures expérimentales (Tableau 1) ont été incluses après signature d'un consentement éclairé dans le cadre de trois protocoles différents validés par un comité éthique de protection des personnes (2011-A00409-32, 2014-A01938-39, 2006-A00386-45). Les données ont été collectées avec le système AQM seul ou avec le système AQM et des capteurs embarqués (centrales inertielles et/ou semelles de pression). Les personnes amputées ont été recrutées par l'INI-CERAH et l'IRR (Institut Régional de Médecine Physique et Réadaptation de Nancy). Les sujets asymptomatiques ont été recrutés par contact direct sur la base du volontariat. Les critères d'inclusion génériques dans l'étude étaient les suivants : homme ou femme d'âge supérieur à 18 ans, ayant une assurance auprès d'un régime de sécurité sociale, étant à même de comprendre les ordres simples, les consignes de conditionnement et de donner leur consentement éclairé. Les critères d'inclusion spécifiques étaient, pour les sujets amputés, sujets ayant une amputation au niveau tibial ou fémoral ou une désarticulation de genou avec un niveau d'activité supérieur à K1 dans la classification à 5 niveaux des capacités fonctionnelles des personnes amputées de membre inférieur (Gailey et al. 2002). Etaient exclus de l'étude, les sujets désarticulés de hanche ou présentant des pathologies lourdes associées à l'amputation ayant un retentissement sur la marche. Les critères

AOM et Nombre de sujets AQM seule Total capteurs embarqués Personne amputée transfémorale 33 6 39 29 7 Personne amputée transtibiale 36 Personne non-amputée 45 16 61 Total 107 29 136

d'inclusion spécifiques pour les sujets non-amputés étaient les sujets ne présentant pas d'affection pouvant interférer avec l'analyse de la marche. Les femmes enceintes et allaitantes étaient exclues.

Tableau 1 : Sujets inclus dans les différentes études (2011-2017)

2.3 Modélisation et paramètres biomécaniques

A partir des mesures expérimentales, la fonction de locomotion peut être décrite via des paramètres biomécaniques. Pour cela, une étape de modélisation cinématique (mouvement) et dynamique (efforts) est requise.

Tout d'abord, lors de l'utilisation du système AQM pour décrire la locomotion, plusieurs protocoles ont été développés et validés. La modélisation et les paramètres biomécaniques calculés dépendent du besoin. Ainsi, la quantification des paramètres spatio-temporels de la marche (vitesse, longueur et largeur de pas, temps d'appui,...) peut être obtenue avec des protocoles simples et rapides. Ces paramètres sont aujourd'hui facilement interprétables en clinique. Pour créer de la connaissance et déterminer d'autres paramètres cliniquement pertinents, un protocole corps entier (i.e. avec des marqueurs réfléchissants placés sur le corps entier) a été mis en place suivant les recommandations de la littérature (Dumas et al. 2007; Villa 2014; Wu et al. 2005). Une modélisation du corps en quinze segments corporels assimilés à des solides rigides est réalisée à partir de la position des marqueurs placés sur le sujet (tête, tronc, bassin, bras, avant-bras, cuisses, jambes, pieds et avant-pieds), et un repère, dit anatomique, est construit pour suivre la position et l'orientation de chaque segment. Chez les sujets amputés, les composants prothétiques sont modélisés symétriquement par rapport aux articulations saines. De plus, un modèle géométrique est réalisé pour déterminer les paramètres inertiels des segments corporels (masse, inerties, position du centre de gravité) selon (Pillet et al. 2010).

La modélisation cinématique permet de calculer les positions angulaires des segments et articulations en 3D, ensuite exprimées comme des angles dans les plans frontal, sagittal et transverse (Pillet et al. 2016). Les modèles cinématiques et dynamiques sont utilisés pour calculer, par dynamique inverse, les moments et puissances dans les articulations, également exprimés en projection dans les trois plans anatomiques (Pillet et al. 2016; Villa 2014). Le moment articulaire traduit le comportement de l'articulation pour entraîner ou freiner les mouvements de rotation. Il est interprété cliniquement comme l'action des muscles, ligaments et contacts articulaires dans l'articulation saine et comme la sollicitation mécanique de chargement dans les composants prothétiques. La puissance articulaire quantifie globalement la puissance musculaire absorbée ou générée par l'articulation. Enfin, la résultante des efforts de réaction du sol directement mesurée par les plateformes de force est également projetée en trois composantes : normale, postéro-antérieure, médio-latérale. Tous ces paramètres biomécaniques sont représentés en fonction du cycle de marche.

Ensuite, concernant les capteurs embarqués, le développement de protocoles fiables et répétables est en cours. Une étape de validation est nécessaire pour chaque développement. Les protocoles et paramètres calculés par capteurs embarqués sont confrontés au résultat pouvant être obtenu avec le système AQM, utilisé comme gold standard. Pour cela, une synchronisation temporelle entre le système AQM et les capteurs embarqués est réalisée à l'aide d'un pic de synchronisation créé électroniquement. Ensuite la fiabilité du protocole est évaluée en calculant l'erreur quadratique moyenne (RMSE) et l'erreur moyenne (ME) entre les paramètres calculés avec le système AQM et ceux calculés par le système embarqué.

De plus, afin de limiter le nombre de capteurs utilisés et concevoir des protocoles utilisables en situation écologique, l'analyse de la locomotion par capteurs embarqués demande aujourd'hui une simplification des modèles cinématiques et dynamiques, le traitement du signal, et un choix restreint de paramètres calculés. Pour l'instant des protocoles ont été développés pour calculer en embarqué les paramètres spatio-temporels de la marche (cadence, nombre de pas, vitesse de marche, temps d'appui), la vitesse instantanée du centre de gravité (Bascou et al. 2016) et l'asymétrie de chargement sur les membres inférieurs (Loiret et al. 2016).

Enfin, des données supplémentaires pour quantifier la fonction et la qualité de vie sont souvent collectées dans les protocoles via des questionnaires fonctionnels spécifiques à la pathologie (PPA-LCI) ou de qualité de vie (SF36) et des tests cliniques fonctionnels (Time up and Go, échelle ABC, tests des six minutes). Par exemple, le test de marche de deux ou six minutes est un bon indicateur des capacités fonctionnelles : il indique la distance parcourue par le patient en deux/six minutes à vitesse rapide.

Exemples de résultats

Stratégies pour le passage du pas prothétique à plat et en dévers

Pendant la marche, le passage du pas prothétique, lorsque la prothèse est mobile au-dessus du sol (phase oscillante), doit être maitrisé pour éviter trébuchements et chutes. En particulier chez les personnes amputées transfémorales, la gestion de la flexion du genou prothétique est influencée par les fonctions des composants prothétiques, la vitesse de marche, les déficiences musculaires, les limitations articulaires et le contrôle de la prothèse par le patient. Cependant, les personnes amputées ont tendance à utiliser des boiteries et défauts de marche, tels que l'élévation de l'hémibassin et le vaulting de la cheville controlatérale (uniquement observé chez les personnes amputées transfémorales), pour sécuriser le passage du pas prothétique (Figure 2a-b). Cependant en rééducation, ces stratégies doivent être corrigées car elles augmentent la consommation d'énergie pendant la marche ainsi que l'asymétrie de marche, sont souvent inesthétiques et peuvent entrainer des douleurs lombaires ou des pathologies associées de l'avant-pied.

Le besoin clinique à l'origine de cette étude est la caractérisation des stratégies et fonctions des articulations lors du passage du pas prothétique à plat et dans des situations contraignantes fréquemment rencontrées dans la vie courante pour créer de la connaissance et compléter les programmes de rééducation.

Par exemple, le dévers, inclinaison frontale du sol observée sur tous les trottoirs urbains, induit une différence ressentie de longueur entre les membres inférieurs. Sans adaptation le dévers entraine une diminution de la distance entre le sol et le pied en phase oscillante en amont du dévers, créant un risque de trébuchement et de chute. L'objectif était d'analyser quantitativement les stratégies mises en place pour le passage du pas prothétique pour s'adapter au dévers par rapport au sol plan horizontal, en particulier lorsque celui-ci est en amont du dévers (Figure2c). Ceci passe par l'identification de paramètres quantitatifs pertinents pour répondre à la question suivante : comment allonger le membre qui prend appui en aval et raccourcir celui qui est mobile (ici le membre prothétique) au-dessus du sol en amont?

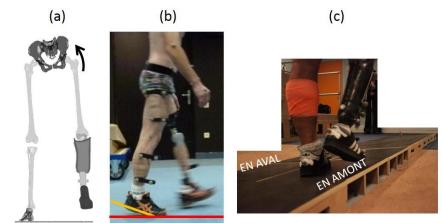


Figure 2 : Illustration des stratégies de marche élévation de l'hémi-bassin (a) et vaulting (b) et d'un dévers (c).

Cette analyse a été réalisée à partir de données AQM collectées avec 17 personnes amputées transfémorales, 15 personnes amputées transtibiales et 17 sujets non-amputés contrôles. Le protocole et la modélisation décrite plus haut ont été utilisés. Plusieurs paramètres identifiés pertinents ont été choisis pour décrire ces stratégies d'adaptation pour le passage du pas du membre en amont (spatiotemporels, angles de flexion des articulations, angle d'inclinaison du bassin dans le plan frontal, puissance générée à la cheville saine) (Villa et al. 2015; Villa et al. 2016).

Toutes les adaptations ont été analysées en comparant les données obtenues en dévers par rapport à la marche sur sol plat. Les sujets non-amputés et amputés de membre inférieur partagent la stratégie qui consiste à réduire la vitesse de marche et à allonger le membre en aval en diminuant la flexion du genou sain pendant l'appui en aval, par rapport à la marche à plat. Chez les sujets non-amputés, l'adaptation est réalisée également avec la modification de la position angulaire de la cheville en amont pour l'éloigner du sol. Les chevilles prothétiques ne permettant pas de mouvement sans chargement, aucune adaptation mécanique n'est possible en phase oscillante. Aussi les personnes amputées s'adaptent autrement. Les personnes amputées transtibiales sollicitent les articulations susjacentes à la cheville prothétique pour raccourcir le membre prothétique (augmentation de la flexion du genou et de la hanche de leur membre appareillé). Au contraire les personnes amputées transfémorales ne fléchissent pas différemment la hanche du côté appareillé, levier de contrôle de la flexion du genou prothétique. Des stratégies qualifiées de défauts de marche et/ou boiteries telles que le vaulting et l'élévation de l'hémibassin apparaissent et/ou sont amplifiées en dévers. Davantage de personnes amputées transfémorales utilisent le vaulting en dévers (Villa et al. 2016). De plus, l'élévation de l'hémibassin, compensation dans le plan frontal, est observée chez les personnes amputées transfémorales et transtibiales. Utilisée à plat, elle est amplifiée en dévers: le bassin s'élève du côté appareillé de 2° supplémentaire en moyenne, correspondant à la montée d'environ 2 cm de l'épine iliaque antéro-supérieur pour un bassin de 30cm, ce qui la rend visible à l'œil nu.

Ces résultats ont permis de décrire les stratégies d'adaptation des personnes amputées en dévers, jamais étudiées auparavant, qui sont multiples, intriquées, et diverses. Grâce aux données du groupe de sujets non-amputés, ces résultats permettent aux rééducateurs d'adapter la démarche clinique. Notamment, cette étude a permis de montrer qu'une situation comme le dévers doit être prise en compte dans la rééducation pour identifier des mécanismes compensatoires pas forcément détectés lors de la rééducation à plat. Les réglages, le renforcement musculaire et surtout l'apprentissage moteur de l'utilisation de la prothèse, qui dépend des pièces prothétiques, (où est le pied prothétique, quand et comment fléchir le genou, comment contrôler avec la hanche) doivent être adaptés pour chercher à réduire ces stratégies asymétriques qui apparaissent en vie quotidienne de façon à limiter la dépense d'énergie à la marche, le risque de comorbidités associées, à augmenter le sentiment de sécurité, et à réduire les risques de chute, le coût cognitif, et l'évitement de ces situations de vie quotidienne.

3.2 Validation de l'utilisation de semelles embarquées pour caractériser l'asymétrie de marche chez les personnes amputées transfémorales

Le besoin clinique à l'origine de cette étude est la caractérisation de l'asymétrie de chargement des membres inférieurs pendant la locomotion chez les personnes amputées transfémorales, indicateur descriptif de la qualité de la locomotion. En effet, l'exacerbation de cette asymétrie de chargement traduit généralement une difficulté dans la réussite de l'appareillage pouvant être lié au confort dans l'emboiture, aux réglages de la prothèse, au choix du matériel prothétique et/ou à son utilisation. Pour quantifier cette asymétrie, le laboratoire d'analyse du mouvement (AQM) est une option couteuse, dont la complexité rend difficile une interaction efficace pendant la rééducation sur cet aspect. Ainsi un protocole clinique utile et simple en embarqué, permettant de fournir des données quantitatives pertinentes, répétables et précises pour décrire cette asymétrie de chargement doit être mis en place et validé.

Des semelles de pression sont développées pour permettre la mesure embarquée de la composante normale des efforts de réaction du sol (NGrF). Récemment, les semelles Pedoped® ont été commercialisées. Equipées d'un seul capteur capacitif, elles ont l'avantage d'être résistantes, souples et peu épaisses et d'afficher la NGrF en temps réel via une application mobile. Comme la NGrF représente 90% de la résultante des efforts au sol pendant la locomotion, ce capteur embarqué permet de mesurer le chargement des membres inférieurs pendant diverses activités de la vie courante. Cet outil apparait comme un bon candidat pour être inclus dans ce protocole. La première étape pour mettre en place ce protocole était de tester la fiabilité des semelles et créer une base de données de référence pour l'asymétrie de chargement des personnes amputées transfémorales.

Ainsi, tout d'abord la précision des mesures des semelles de pression pour estimer la NGrF a été testée avec 5 sujets non-amputés. Equipés des semelles dans leurs chaussures, ils piétinaient pendant 1 minute (60 cycles environ) sur deux plateformes de force prises comme référence. Les deux systèmes étaient synchronisés en détectant pour chacun l'instant du premier NGrF supérieur à 20N. L'erreur moyenne de la NGrF était ensuite calculée sur l'ensemble des cycles des semelles testées. Ensuite, la précision des mesures des semelles de pression pour calculer l'asymétrie de chargement sur les membres inférieurs a été testée avec 5 sujets amputés transfémoraux. Equipés de semelles ils marchaient à vitesse confortable à plat. Deux pas sur les 4 enregistrements de marche étaient effectués sur plateformes de force (même méthode de synchronisation). L'asymétrie D/G (ASI) peut être calculée pour n'importe quel paramètre biomécanique calculé pour le membre appareillé (A) et le membre sain (S) en utilisant l'équation (1).

$$ASI = \frac{S - A}{0.5 * (S + A)} * 100 \quad (1)$$

L'ASI a été calculé avec les données des semelles et des plateformes de force pour trois paramètres de chargement : le premier (Fz1) et second (Fz2) maximum de la NGrF et le temps d'appui (TA) (Figure 3). L'erreur moyenne des ASI pour chaque paramètre était ensuite calculée sur l'ensemble des cycles et patients évalués. Enfin, une base de données où les ASI des trois paramètres de chargement a été constituée avec 25 personnes amputées transfémorales.

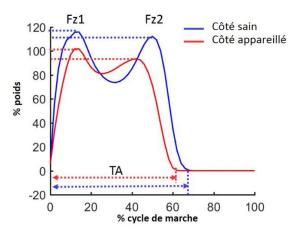


Figure 3 : Exemple de courbe de la composante normale de l'effort de réaction du sol (NGrF) en fonction du cycle de marche.

Les résultats avec sujets non-amputés ont montré que les semelles étaient fiables comparées aux plateformes de force (erreur moyenne 4% et RMSE 5%, normalisées par le maximum de la NGrF). Les erreurs les plus élevées étaient associées à des différences dans la procédure de calibration des semelles. Celle-ci doit être standardisée et évaluée en fonction des opérateurs et avec les patients, pour s'assurer de la répétabilité de l'outil avant sa validation pour son utilisation clinique. Ensuite, les résultats avec sujets amputés ont montré que les erreurs moyennes sur les ASI variaient de -6% à 2%, sachant que les semelles ont tendance à surestimer l'asymétrie. Des valeurs de référence ont été établies pour ces trois paramètres identifiés pertinents pour quantifier l'asymétrie de chargement. Cependant les patients inclus étaient tous en fin de rééducation fonctionnelle. Aussi, la sensibilité des paramètres ASI définis doit encore être testée au cours de la rééducation.

Une fois cette étape de validation du matériel, du protocole et de consolidation du choix des paramètres terminée, une étude évaluant la pertinence de cet outil sur la progression de la qualité et quantité de la marche dans la rééducation fonctionnelle de la personne amputée de membre inférieur sera conduite.

4 Conclusion et perspectives

Fortes de l'expertise clinique et en ingénierie, ces recherches sur l'appareillage en rééducation fonctionnelle placent la reprise des capacités fonctionnelles des patients au centre des travaux. En résumé, ils consistent en la recherche d'indicateurs utiles associés à des outils adaptés permettant aux cliniciens de s'assurer de l'adéquation entre l'appareillage et le patient et de suivre les progrès fonctionnels en rééducation. En plus de la prise en charge basée sur l'expérience du clinicien, les protocoles cliniques s'appuient sur des données quantitatives apportant des preuves, et s'orientent de plus en plus vers du monitoring à l'aide de capteurs (Hafner & Sanders 2014). Ces outils de monitoring innovants doivent être simples et utiles pour faciliter le traitement (aide au respect des consignes de traitement), le diagnostic (évaluation des problèmes de réglages, de défauts,...) et/ou le pronostic (prévention, motivation, biofeedback).

Les travaux présentés dans cet article que ce soit avec l'AQM ou avec les capteurs embarqués s'inscrivent dans cette évolution de la prise en charge clinique. L'identification des paramètres pertinents issus de l'AQM permettent son utilisation en clinique dans l'évaluation des défauts de marche comme moyen de détection, de quantification, de rééducation spécifique pour la prise de conscience et l'évaluation de leur correction. L'intégration d'AQM simplifiée en clinique permettra également la création plus aisée de bases de données de marches de patients, vecteurs de connaissances et de fort intérêt pour la formation des acteurs de l'appareillage. Standardiser les protocoles et partager les données, au moins au niveau national, accéléreraient cette création de connaissances.

Avec les capteurs embarqués, l'intégration en clinique nécessite encore de nombreuses avancées. Elles consisteront notamment en l'évaluation de la pertinence de leur utilisation dans les protocoles de rééducation pour réduire les temps de rééducation et les coûts, améliorer la motivation des patients, favoriser l'auto-rééducation. Au-delà des défis technologiques, cliniques et organisationnels, des questions psychosociologiques doivent être étudiées notamment sur l'impact de ces outils de monitoring sur les patients (dépendance, confiance, ...).

Ces travaux et perspectives de recherche et d'innovation en rééducation fonctionnelle sont également associés aux recherches industrielles pour l'innovation technologique dans les composants prothétiques impliquant tous les acteurs de l'appareillage de la personne amputée.

Références

Bascou, J. et al., 2016. Estimation de la vitesse du centre de masse dans diverses situations de marche de la vie courante par capteur embarqué. XVè congrès de la SOFAMEA, 27-29 janvier 2016, Brest, France.

Della Croce, U. et al., 2005. Human movement analysis using stereophotogrammetry. Part 4: assessment of anatomical landmark misplacement and its effects on joint kinematics. Gait Posture, 21(2), pp.226–237. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2004.05.003.

Cutti, A.G. et al., 2015. Clinical gait analysis for amputees: Innovation wishlist and the perspectives offered by the outwalk protocol. Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia, 37, pp.45–48. Available at: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84961002594&partnerID=40&md5=93c25314a4af72790165e149dedc52b3.

Drevelle, X. et al., 2014. Vaulting quantification during level walking of transfemoral amputees. Biomech 29(6), pp.679-683. Clin (Bristol, Avon), Available http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.04.006.

Dumas, R., Chèze, L. & Verriest, J.P., 2007. Adjustments to McConville et al. and Young et al. body segment inertial parameters. Journal of Biomechanics, 40(3), pp.543–553.

Gailey, R. et al., 2008. Review of secondary physical conditions associated with lower-limb amputation and long-term prosthesis use. Journal of Rehabilitation Research and Development, 45(1), pp.15–30. https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-Available at: 63249112803&doi=10.1682%2fJRRD.2006.11.0147&partnerID=40&md5=69bb1d91e13f7c4ad3a5ef 774f096f93.

Gailey, R.S. et al., 2002. The Amputee Mobility Predictor: An instrument to assess determinants of the lower-limb amputee's ability to ambulate. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 83(5), pp.613–627. Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003999302474606.

Hafner, B.J., 2005. Clinical Prescription and Use of Prosthetic Foot and Ankle Mechanisms: A Review of the Literature. JPO Journal of Prosthetics and Orthotics, 17(Supplement), pp.S5–S11.

Hafner, B.J. & Sanders, J.E., 2014. Considerations for development of sensing and monitoring tools to facilitate treatment and care of persons with lower-limb loss: a review. Journal of rehabilitation research development. and pp.1–14. Available 51(1). http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24805889.

Van der Linde, H. et al., 2004. A systematic literature review of the effect of different prosthetic components on human functioning with a lower-limb prosthesis. Journal of rehabilitation research and development, 41(4), pp.555–570.

Loiret, I. et al., 2016. Reliability quantification and gait loading asymmetry assessment with wearable insoles in transfemoral amputee people at different speeds. Neurophysiologie Neurophysiology, 46(4), Available Clinique/Clinical p.267 http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0987705316302842.

Mariani, B. et al., 2013. On-shoe wearable sensors for gait and turning assessment of patients with parkinson's disease. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 60(1), pp.155–158. Available at: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-

84871804768&doi=10.1109%2fTBME.2012.2227317&partnerID=40&md5=1843c6c947f88e066fa9 9e8924f21e16.

Miller, W.C., Speechley, M. & Deathe, B., 2001. The prevalence and risk factors of falling and fear of falling among lower extremity amputees. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 82(8), pp.1031–1037. Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S000399930127659X.

Nolan, L. et al., 2003. Adjustments in gait symmetry with walking speed in trans-femoral and trans-tibial amputees. Gait and Posture, 17(2), pp.142–151.

Pillet, H. et al., 2016. APSIC: Appareillage des Personnes amputées de membre inférieur dans des Situations Contraignantes de la vie courante. Kinésithér Scient, 0573, pp.19–29.

Pillet, H. et al., 2014. APSIC: Training and fitting amputees during situations of daily living . IRBM, 35(2), pp.60–65.

Pillet, H. et al., 2010. Evaluation of force plate-less estimation of the trajectory of the centre of pressure during gait. Comparison of two anthropometric models. Gait & Posture, 31(2), pp.147–152. Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0966636209006286.

Rouhani, H. et al., 2012. Measurement of Multi-segment Foot Joint Angles During Gait Using a Wearable System. Journal of Biomechanical Engineering, 134(June), p.061006.

Samuelsson, K.A.M. et al., 2012. Effects of lower limb prosthesis on activity, participation, and quality of life: a systematic review. Prosthet Orthot Int, 36(2), pp.145-158. Available at: http://dx.doi.org/10.1177/0309364611432794.

Sawers, A.B. & Hafner, B.J., 2013. Outcomes associated with the use of microprocessorcontrolled prosthetic knees among individuals with unilateral transfemoral limb loss: a systematic review. Journal of rehabilitation research and development, 50(3), pp.273-314. Available at: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23881757.

Smith, D.G., Michael, J.W. & Bowker, J.H., 2002. Atlas of amputations and limb deficiencies, American Academy of Orthopaedic Surgeons.

Villa, C., 2014. Analyse de la marche des personnes amputées de membre inférieur en situations contraignantes de la vie courante. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM

Villa, C. et al., 2016. Cross-Slope and Level Walking Strategies During Swing in Individuals With Lower Limb Amputation. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. Available at: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-

85011628768&doi=10.1016%2fj.apmr.2016.10.007&partnerID=40&md5=618e0867d257cf286440fe c8e83e881f.

Villa, C. et al., 2015. Evolution of vaulting strategy during locomotion of individuals with transfemoral amputation on slopes and cross-slopes compared to level walking. Clinical Biomechanics. 30(6). pp.623-628. Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268003315000984.

Wu, G. et al., 2005. ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion - Part II: Shoulder, elbow, wrist and hand. Journal of Biomechanics, 38(5), pp.981-992.

Considérer les Besoins Propres à Chaque Individu pour Améliorer l'Accessibilité des Pages Web

Yoann Bonavero¹, Michel Meynard, and Marianne Huchard ¹LIRMM, CNRS et Université de Montpellier

Yoann Bonavero < yoann.bonavero@lirmm.fr>

Résumé

Alors que les outils de l'information et de la communication occupent aujourd'hui une part très importante de notre vie quotidienne, l'accessibilité et l'utilisabilité de la multitude de services proposés ne sont bien souvent pas au rendez-vous. Ceci est d'autant plus vrai lorsque l'on a une pathologie lourde ou rare. Il est évident que des pages ou services Web ne peuvent d'eux-mêmes pas être adaptés pour tout le monde et les outils tiers d'assistance sont souvent très généralistes. Nos travaux s'intéressent à une approche nouvelle permettant de prendre en compte le design initial ainsi que les attentes personnelles des utilisateurs afin d'adapter au cas par cas le visuel des pages Web au fil de la navigation. Cette approche s'appuie sur différentes tâches de découpage et de reconnaissance des structures dans les pages Web, d'identification des éléments posant des difficultés visuelles, puis sur une tâche de recherche d'une adaptation pertinente qui est enfin appliquée.

1 Introduction

La place grandissante qu'occupe aujourd'hui Internet en fait une source d'informations et de services considérable et incontournable. Les sites Web sont en constante évolution et les avancées et libertés offertes par les nouvelles technologies augmentent de plus en plus leur complexité. En appui à cette multiplicité de services et d'informations, la couverture Internet qui s'invite aujourd'hui presque partout creuse encore et encore les différences entre ceux qui peuvent accéder aux nouvelles technologies et les utiliser et les autres.

On considère les avancées médicales comme un progrès, un pas en avant, cependant cela dépend aussi de l'angle par lequel on les regarde. En même temps que les avancées médicales permettent d'augmenter l'espérance de vie moyenne, le nombre de personnes souffrant de déficience visuelle augmente lui aussi. Le risque d'avoir une pathologie visuelle avec l'âge est en effet important (DMLA, cataracte, ...). La problématique d'accès à l'information, à la culture, aux loisirs, aux services est par conséquent un enjeu majeur dans l'inclusion des personnes déficientes visuelles qui constituent une part croissante de la population.

Pour répondre aux besoins concrets, de nombreux standards et recommandations d'accessibilité ont été définis^{1,2,3,4}. Ils ont pour but d'assurer à la fois une accessibilité minimale à l'information mais également de permettre aux applications tierces d'assistance de fonctionner correctement. Ces outils, extérieurs aux sites Web et services, permettent d'apporter des modifications sur la façon dont les informations sont affichées à l'écran ou même sur la modalité d'accès à l'information. Les technologies tierces d'assistance, pour les personnes déficientes visuelles, peuvent être divisées en deux groupes distincts : celui des outils utilisés par les personnes qui possèdent encore un reste visuel utilisable pour accéder à de l'information visuellement et celui des outils utilisés par les personnes non-voyantes. Nous faisons donc ici la distinction entre les personnes non-voyantes qui utilisent par exemple des lecteurs d'écran et les personnes malvoyantes qui utilisent, par exemple, des agrandisseurs d'écran.

2 L'approche globale

Dans ses grandes lignes, notre approche consiste, lorsqu'une page Web est ouverte, à regarder comment la page est constituée (architecture, couleurs, dimensions, etc.) et à modifier des propriétés de certaines parties de la page pour qu'elle devienne accessible pour une personne donnée. Un prototype de développement est disponible à l'adresse http://ewpa.lirmm.fr et peut être testé.

Il s'agit en effet de déterminer les zones des pages qui posent problème non pas pour une catégorie de personnes mais plutôt pour une personne individuelle afin d'adapter au mieux la page. Pour cela nous devrons également connaître les besoins de la personne. Le processus complet d'adaptation depuis une page Web par rapport aux besoins d'un utilisateur (cf. figure 1 peut se découper selon plusieurs grandes parties : l'analyse de la page Web et la sélection des éléments nécessaires à l'adaptation (cf. Section 3 et Section 4), la recherche d'une adaptation (cf. Section 5) et l'application sur la page Web de l'adaptation trouvée (cf. Section 6).

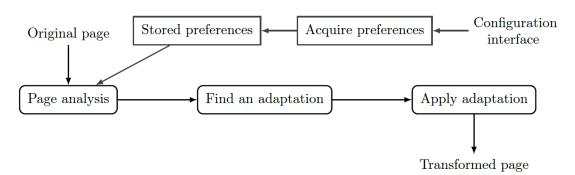


Figure 1: Vue d'ensemble du processus d'adaptation

Web content accessibility guidelines, 2008.

² http://www.w3.org/TR/ATAG20/. Authoring tools Accessibility Guidelines. Accessed: 2014-11-09.

³ http://www.w3.org/TR/UAAG20/. User Agent Accessibility Guidelines. Accessed : 2014-11-09.

⁴ http://www.w3.org/WAI/intro/aria. Web Accessibility Initiative - Accessible Rich Internet Apps. Accessed : 2014-11-09.

L'acquisition des préférences de l'utilisateur consiste à lui faire exprimer ses besoins en matière d'adaptation. Ces préférences se traduisent par des règles permettant d'évaluer le niveau de satisfaction d'une page par rapport aux besoins exprimés. Ces préférences sont stockées afin que cette opération ne soit réalisée qu'une seule fois. L'interface reste néanmoins accessible (par un bouton dans la barre d'extension du navigateur) afin de ré-ajuster certains réglages au besoin. Par exemple dans le cas d'une pathologie dégénérative, l'utilisateur aura régulièrement besoin de réajuster sa configuration.

Lorsqu'une page Web est chargée dans le navigateur, celle-ci doit potentiellement être adaptée si elle ne satisfait pas les préférences de l'utilisateur. Pour cela la page Web doit tout d'abord être analysée afin de détecter les différentes structures « visuelles » de la page, c'est-à-dire les structures qui composent la page comme les menus, le fil d'ariane, les entêtes et pied de page, le contenu principal, etc. De cette manière, il est possible de définir des préférences sur des éléments de haut niveau et non pas uniquement du texte ou des liens. Après l'identification des éléments de la page, ces derniers sont filtrés pour ne conserver que les éléments qui vont être utiles pour trouver la solution en fonction des préférences définies. Cette étape de filtrage permet de fournir à l'outil de calcul d'une adaptation le moins d'éléments possible pour simplifier la recherche.

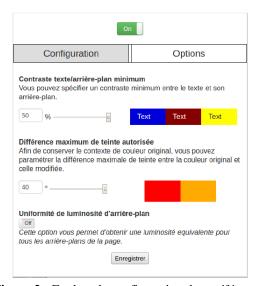


Figure 2 : Fenêtre de configuration des préférences

Le calcul d'une adaptation fait appel à un algorithme évolutionnaire de type algorithme génétique (NSGA). Dans ces algorithmes, des opérateurs tentent de mimer un comportement de la théorie de l'évolution. Nous parlerons donc par exemple d'opération de croisement, de mutation ou de sélection. Il s'agit d'algorithmes dits d'optimisation, c'est-à-dire qu'ils ne parcourent pas l'intégralité des combinaisons possibles pour adapter la page jusqu'à en trouver une bonne (ce qui dans notre cas est impossible au vu du nombre gigantesque de solutions) mais ils évaluent des solutions possibles et tentent de les faire évoluer à travers les opérateurs génétiques.

Une fois qu'une bonne adaptation est calculée, ou que le temps maximum imparti est atteint, l'adaptation renvoyée par l'outil de recherche doit être appliquée sur la page. Cette dernière étape du processus d'adaptation d'une page est réalisée très simplement. Chaque élément passé à l'outil de recherche d'une adaptation est marqué dans la page Web. Ainsi, lorsque l'adaptation est retournée, il est facile de repérer les éléments en question dans l'arbre DOM de la page et de changer leurs propriétés.

3 Découpage et reconnaissance des structures visuelles composant la page

Même si le standard HTML 5 apporte des informations supplémentaires dans le code source par rapport aux versions antérieures, la grande majorité des sites Web contiennent au final assez peu d'informations structurelles. Lorsque l'on cherche à améliorer de manière simple le confort de lecture, on va par exemple essayer d'améliorer le contraste entre le texte et son arrière-plan.

Ceci peut être réalisé de différentes manières, soit en utilisant des paires de couleurs prédéfinies qui offrent le contraste désiré, soit en effectuant des calculs afin de trouver les couleurs offrant le contraste voulu tout en prenant en compte les couleurs d'origine. Cependant si on veut aller plus loin et améliorer davantage l'accessibilité nous devons faire bien plus qu'améliorer un contraste entre le texte et son arrière-plan. Il pourrait par exemple être intéressant de modifier le menu afin qu'il soit visuellement plus détaché du contenu ou du reste de la page. Le fil d'ariane peut également être difficile à trouver sur certaines pages Web. Le mettre davantage en avant pourrait aider certaines personnes. Tout dépend des habitudes de navigation de chacun. Dans tous les cas, il est important de ne pas se limiter au strict minimum et d'offrir un potentiel d'expression des besoins plus important. Il est donc nécessaire de disposer d'un grand nombre d'informations sur la structuration de la page.

Un outil a été développé en JavaScript sous forme d'extension pour les navigateurs Web afin de s'intégrer très facilement au logiciel de visualisation du contenu Web. Cet outil permet d'effectuer toutes les étapes de découpage, de reconnaissance et de filtrage des éléments des pages Web (cf. Figure 3).

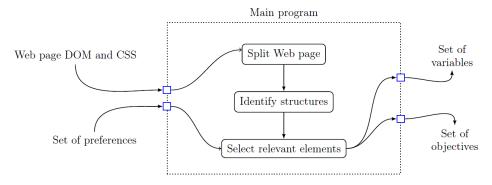


Figure 3 : Analyse de la page

Les étapes de découpage et d'identification des structures visuelles découpées se basent uniquement sur les informations disponibles dans le navigateur Web (côté client). Le code HTML et le CSS contiennent les informations nécessaires.

La découpe de la page Web en structure visuelles se fait par plusieurs parcours de l'arbre DOM de la page. Lors de ces parcours, des informations complémentaires (annotations) sont ajoutées dans l'arbre DOM de la page. Ces annotations seront ensuite utilisées pour identifier les structures visuelles extraites. Pour découper la page, nous utilisons par exemple assez fortement la notion de divisibilité d'un nœud. Une série de conditions se basant notamment sur le type de nœud et les nœuds enfants permettent de décider si le nœud courant constitue une entité visuelle unique ou s'il peut être divisé en plusieurs entités visuelles. D'autres notions viennent compléter la divisibilité afin de de ne garder que les éléments utiles et extraire toutes les structures visuelles.

Une fois la liste des structures visuelles extraites, nous pouvons passer à la phase suivante qui consiste à identifier ces structures. Pour ce faire, une série d'heuristiques sont appliquées sur chaque

structure visuelle et donnent la probabilité que la structure soit du type associé à l'heuristique. Par exemple la probabilité que telle structure soit un menu, ou telle autre un fil d'ariane. La reconnaissance des structures extraites utilise diverses propriétés. Elle peut utiliser par exemple le type et le nombre d'éléments contenus dans la structure, elle peut également utiliser la position géographique de la structure sur la page mais également la disposition des éléments internes.

La dernière phase consiste à filtrer les éléments extraits. Cette étape a pour but de ne conserver que les éléments HTML (et leurs propriétés) qui sont concernés par les préférences utilisateurs définies. De cette manière en réduisant le nombre d'éléments et propriétés pour chaque élément, on simplifie la résolution du problème d'adaptation.

4 Sélection et fusion des éléments de la page

Les pages Web peuvent facilement contenir plusieurs centaines voire plusieurs milliers d'éléments HTML. Pour chaque élément HTML nous pouvons avoir une multitude de propriétés CSS. De plus les propriétés CSS peuvent avoir des domaines de définition très grands comme celui des couleurs. Essayer de résoudre le problème d'adaptation sur une page complète nous amènerait à ne trouver presque jamais de bonnes adaptations. Il est donc indispensable de se limiter seulement aux éléments ciblés d'une manière ou d'une autre par les préférences utilisateurs. Les autres éléments ne seront pas impactés par l'adaptation il est donc inutile de perdre du temps de calcul à les considérer.

Si l'utilisateur a une pathologie qui entraîne par exemple une photophobie (éblouissement très facile), alors il pourrait utiliser une préférence permettant d'indiquer que l'on souhaite avoir tous les arrière-plans de la page similaires (tous sombres). Si seule cette préférence est définie, il ne sert à rien de s'intéresser aux éléments textuels, tableaux, liens, etc.

Imaginons ensuite qu'un utilisateur définisse également une préférence de contraste minimum entre la couleur du texte et la couleur de son arrière-plan. Il est évident qu'il va falloir récupérer tous les éléments textuels de la page et tous les arrière-plans qui correspondent à ces éléments textuels. La première difficulté consiste à trouver l'arrière-plan qui correspond à un texte. En effet, si visuellement cela semble évident, lorsque l'on regarde le code source cela ne l'est pas toujours. Il arrive souvent que l'arrière-plan d'un texte ne soit pas l'arrière-plan de la boîte qui contient le texte. Si la boîte qui contient le texte a un arrière-plan transparent ou semi-transparent, il faut remonter dans l'arbre jusqu'à trouver une opacité de 100% et récupérer la couleur pour l'associer au texte tout en conservant en mémoire où se trouvait l'arrière-plan pour le modifier ensuite lors de l'adaptation.

Indépendamment de cette phase de récupération des textes et de leurs arrière-plans, la quantité d'éléments récupérés sera souvent très importante. Imaginons un site basique qui a une architecture classique avec un bandeau d'en-tête, un menu, un contenu avec un article, etc. Après récupération, nous aurons un élément textuel pour chaque lien du menu, un élément textuel pour chaque titre, un élément textuel pour chaque paragraphe de l'article, etc. Si on traite ces éléments directement, non seulement on en aura beaucoup à traiter, mais en plus ils seront traités de manière indépendante. Autrement dit, des liens qui avaient la même couleur au départ pourraient ne plus avoir la même après l'adaptation. Si des éléments de même nature ont les mêmes propriétés CSS comme la couleur, alors il est souhaitable que l'on conserve cette cohérence après l'adaptation.

Pour conserver la cohérence globale des éléments similaires sur la page d'origine et simplifier la résolution, une phase de fusion des éléments est nécessaire. Nous utilisons donc les propriétés CSS des éléments extraits pour créer des groupes d'éléments de même nature (balise HTML) et d'apparence similaire. La création des groupes prend également en compte l'arrière-plan des éléments de manière à ce qu'un groupe d'éléments textuels ne puisse pas contenir d'éléments se rapportant à des arrière-plans différents. Ensuite, au lieu de traiter des éléments individuellement, l'outil de recherche d'une adaptation utilisera les groupes d'éléments. C'est au moment de l'application de la transformation que l'on reviendra aux éléments HTML à partir des groupes.

Une fois les groupes obtenus, il est possible d'instancier les préférences de l'utilisateur. Par exemple pour la préférence de contraste, pour chaque groupe de textes on aura une instance de la préférence de contraste entre le groupe (d'éléments textuels) et l'arrière-plan qui s'y rapporte. À ce stade on ne parlera plus d'instance de préférence mais d'objectif. Le regroupement permet en plus de réduire le nombre d'éléments à traiter, le nombre d'objectifs définis. L'instanciation d'une préférence utilisateur a pour effet de créer une ou plusieurs variables et un ou plusieurs objectifs. En reprenant la préférence de contraste, pour chaque groupe d'éléments textuels on définira une variable correspondant à la couleur des éléments textuels du groupe et une autre variable correspondant à la couleur de l'arrière-plan de ces éléments textuels. L'ensemble des variables et des objectifs est ensuite passé à l'outil de résolution.

5 Recherche d'une adaptation

La résolution du problème, c'est-à-dire le fait de trouver une adaptation qui satisfasse toutes les préférences de l'utilisateur, est réalisée par un autre outil. Ce dernier n'est pas intégré dans l'extension du navigateur mais est installé sur un serveur distant accessible par le port 80 (http). Cela permet d'alléger la charge processeur incombant à la machine de l'utilisateur et son développement en C++ permet un gain considérable de performances par rapport au langage JavaScript.

Lorsque l'outil d'analyse de la page a terminé l'ensemble des traitements, il émet une requête au serveur de résolution en donnant l'ensemble des variables et des objectifs. L'outil renverra ensuite l'adaptation calculée.

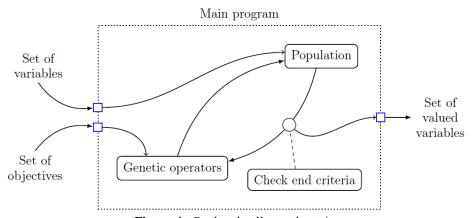


Figure 4: Recherche d'une adaptation

L'outil de résolution se base sur un algorithme génétique. Plusieurs algorithmes ont été implémentés afin de comparer leur efficacité (NSGAII, NSGA-III, SPEA-II). NSGA-III est la version qui a permis d'obtenir les meilleurs résultats notamment en termes de temps de calcul et de niveau de satisfaction des objectifs (Bonavero, 2015). Cet algorithme fait évoluer une population d'individus (un ensemble de solutions d'adaptation possibles) à travers des opérateurs génétiques. Ces opérateurs permettent par exemple de mélanger des solutions entre elles ou de modifier aléatoirement certaines parties d'une solution dans le but de générer de nouveaux individus (descendance). Ensuite l'opérateur de sélection vient choisir parmi l'ensemble des parents et enfants ceux qui feront partie de la prochaine génération. À chaque génération, les critères d'arrêt sont vérifiés. L'algorithme s'arrête lorsque le temps maximal imparti est atteint (10s) ou bien lorsqu'une bonne solution d'adaptation est

trouvée. Une bonne solution d'adaptation est une solution qui satisfait l'ensemble des préférences définies par l'utilisateur. En plus de ces critères d'arrêt, l'ensemble des objectifs doit être évalué pour chaque individu de manière à obtenir son niveau de satisfaction.

Actuellement l'outil de recherche d'une adaptation utilise un nouvel algorithme génétique. Ce dernier est encore en cours de développement et d'ajustement, mais il offre déjà un gain de performance considérable par rapport à NSGA-III. Cet algorithme reprend les opérateurs de croisement et mutation basiques et récurrents dans les algorithmes génétiques mais apporte un tout nouvel opérateur de sélection basé sur la satisfaction de seuils.

6 Application de la transformation



Site Web Arduino software avant adaptation

Site Web Arduino software après adaptation

Une fois qu'une solution d'adaptation a été retournée par l'outil de résolution, il ne reste plus qu'à l'appliquer sur la page Web. La transformation est relativement simple. Il s'agit, à partir de chaque variable de la solution, de retrouver l'élément HTML qui lui correspond et de lui affecter la nouvelle valeur de la propriété CSS correspondante. Lorsqu'une variable représente un groupe d'éléments HTML, l'application de la modification est effectuée sur l'ensemble des éléments HTML qui constituent le groupe en question. Cette partie est effectuée dynamiquement en Javascript, par le biais de l'extension du navigateur, sur la page déjà affichée. En effet, le temps que les différents outils s'exécutent, la page Web d'origine telle qu'elle est chargée depuis l'hébergeur est affichée dans la zone de rendu du navigateur. Étant donnés les temps de calcul qui peuvent être longs sur certaines pages, il est donc possible de commencer à découvrir au moins l'architecture de la page ainsi que certaines informations déjà accessibles.

Travaux connexes

De nos jours l'adaptation visuelle est souvent réalisée grâce à des outils commerciaux. Ces outils peuvent se trouver directement dans le système d'exploitation, intégré dans le navigateur Web ou sous forme d'extension. Les travaux de recherche autour de ce domaine tentent de prendre de plus en plus en compte les besoins et préférences de l'utilisateur. Des approches comme « color vision deficiency» (Santucci, 2009; Troiano et al., 2008) traitent de déficiences spécifiques, tandis que dans notre cas, nous proposons une approche générique pour toutes les personnes ayant une basse vision. Comme mentionné dans Mirri et al. (2012), l'architecture des prototypes proposés peut se scinder en outil côté client (Mirri et al., 2012; Santucci, 2009; Bigham et al., 2007), en proxy (Tibbitts et al., 2002), hostcontent-server-side, web page (Bigham et al., 2006) ou en web service. L'outil peut être destiné à l'utilisateur (Santucci, 2009; Mirri et al, 2012; Macías et al., 2002; Tibbitts et al., 2002), aux développeurs (Macías et al., 2002), aux outils d'assistance (Lunn et al., 2008; Lunn et al., 2009; Islam et al., 2009) ou à un usage mixte (Bigham et al., 2006; Bigham et al., 2007). Notre outil est destiné à être utilisé côté client et par l'utilisateur final.

L'approche proposée traite différents types d'éléments. Certaines approches ne considèrent que des éléments basiques comme la couleur d'un texte spécifique ou d'un arrière-plan (Santucci, 2009 ; Tibbitts et al., 2002), alors que d'autres se focalisent sur les structures et rôles des éléments comme les listes, les menus, les sections ou les titres (Lunn et al., 2008; Lunn et al., 2009; Islam et al., 2009). Par exemple dans Islam et al. (2009), les labels sont assignés aux champs de formulaire par une approche d'optimisation probabiliste. À côté de cela des approches plus avancées proposent leur propre meta-modèle ou langage (Macías et al., 2002; Lunn et al., 2008) pour être capables de manipuler des éléments de haut niveau d'abstraction. Dans notre cas nous laissons l'utilisateur exprimer ses préférences à différents niveaux d'abstraction, à travers des variables qui décrivent des paires composées d'un élément HTML et d'une propriété potentiellement complexe. Une préférence est n'importe quelle fonction évaluable exprimée sur une ou plusieurs variables et leur domaine de définition. Nous pouvons prendre en compte le design d'origine en utilisant les valeurs d'origine des propriétés des éléments et en définissant les préférences adaptées. Les approches qui utilisent des éléments de haut niveau doivent souvent faire appel à un outil permettant de reconnaître ces structures. Ceci peut être réalisé par l'analyse du code source ou par « pattern recognition » (Macías et al., 2002).

Au cours du transcodage, les éléments modifiés sont souvent des éléments HTML (Lunn et al., 2008; Tibbitts et al., 2002) et des règles CSS (Bigham, 2007; Mirri et al, 2012), Cependant dans certaines conditions il peut aussi s'agir de scripts (Mirri et al. 2012; Santucci, 2009). Dans Lunn et al. (2009), le contenu Web est enrichi avec des règles de navigation de contenu (CNR) en introduisant des éléments ARIA. Ceci est destiné à améliorer la navigation avec des lecteurs d'écran. Dans Bigham et al. (2006), les textes alternatifs sont automatiquement produits soit par reconnaissance de caractères sur les images ou par décodage de l'URL. Les modifications peuvent cibler l'ensemble de la page Web (Santucci, 2009), ou une partie spécifique (Ferretti et al., 2014a; Ferretti et al., 2014b; Mirri et al., 2013). Dans notre approche nous pouvons modifier une partie ou l'entièreté de la page si nécessaire.

Le profil utilisateur peut se trouver sous la forme d'un ensemble de valeurs attendues pour quelques propriétés comme « font » ou « color » (Tibbitts et al., 2002 ; Santucci, 2009 ; Mirri et al., 2013). Le profil utilisateur peut également être prédéfini selon des catégories d'utilisateurs connues à l'avance comme les différents types de daltonisme (Santucci, 2009). Ce profil utilisateur peut par exemple être saisi à partir d'une interface donnant les valeurs pour les propriétés (Tibbitts et al., 2002; Mirri et al, 2012) ou à partir de tests visuels (Foti et al., 2009). Dans une approche plus innovante (Ferretti et al., 2014a; Ferretti et al., 2014b; Mirri et al., 2013), le profil de l'utilisateur est appris à partir de ses actions à travers un algorithme de Q-learning. Dans notre cas nous utilisons actuellement une interface permettant de sélectionner des préférences et leurs principaux paramètres.

En fonction du profil utilisateur, l'étape d'adaptation peut prendre différentes formes. Dans Santucci (2009), les préférences prédéfinies peuvent être directement appliquées ; dans Mirri et al. (2013), ce sont les préférences apprises qui sont directement appliquées. Dans le projet Cloud4all⁵, les participants travaillent sur une infrastructure inclusive publique globale (GPII) qui permettra l'implémentation facile d'un profil utilisateur pour personnaliser n'importe quel périphérique ou contenu. Dans notre cas, comme les préférences peuvent être conflictuelles, un compromis doit être trouvé. Ceci est réalisé à l'aide de méta-heuristiques.

Certains outils proposent à la fois des adaptations mais aussi des métriques pour juger de la qualité de l'adaptation. Dans notre outil l'utilisation d'algorithmes évolutionnaire fait, qu'à travers les

⁵ Cloud4all. http://www.cloud4all.info/. Accessed: 2015-03-25.

fonctions objectifs, nous pouvons aussi évaluer la qualité des adaptations. Ce sont en quelques sorte des métriques qui guident la recherche d'une adaptation.

8 Conclusion

Alors que les outils d'assistance existants n'offrent que des options « simples » et assez générales, notre projet de recherche veut proposer un outil personnalisable qui adapte les pages Web en fonction des préférences d'une personne spécifique. Un premier outil est disponible et peut être utilisé sur certains navigateurs. Il est constitué des différentes parties décrites dans cet article et utilise la version en cours d'ajustement de l'outil de résolution.

Avec cet outil on peut définir quelques préférences comme notamment celle du contraste ou celle permettant de conserver autant que possible les couleurs d'origine de la page. Les temps de calcul sont limités à une dizaine de secondes (une adaptation de la page est disponible en moins de 10s). Dans le pire des cas, la page ne sera pas ou très peu modifiée. Pour des pages de petite et moyenne taille des améliorations sont possibles en moins de 2 ou 3 secondes. Le projet est encore à un stade expérimental et des progrès peuvent encore être réalisés pour réduire davantage le temps de calcul et améliorer la pertinence des adaptations proposées.

9 Remerciements

Les auteurs remercient Berger Levrault et le Labex NUMEV qui ont soutenu ces travaux.

Références

Web content accessibility guidelines, 2008.

Bigham, J. P., Kaminsky, R. S., Ladner, R. E., Danielsson, O. M., and Hempton, G. L. (2006). Webinsight: Making web images accessible. In Proceedings of the 8th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, Assets '06, 181-188, New York, NY, USA,

Bigham, J. P. and Ladner, R. E. (2007). Accessmonkey: a collaborative scripting framework for web users and developers. In Proceedings of the international cross-disciplinary conference on Web accessibility (W4A), 25-34. ACM.

Bonavero, Y. (2015). Une approche basée sur les préférences et les méta-heuristiques pour améliorer l'accessibilité des pages Web pour les personnes déficientes visuelles. (A meta-heuristic based approach for improving Web page accessibility for people with low vision). PhD thesis, University of Montpellier, France.

Ferretti, S., Mirri, S., Prandi, C. and Salomoni, P. (2014a) Exploiting reinforcement learning to profile users and personalize web pages. In IEEE 38th Annual Computer Software and Applications Conference, COMPSAC Workshops 2014, Vasteras, Sweden, July 21-25, 252-257. IEEE.

Ferretti, S., Mirri, S., Prandi, C. and Salomoni. P. (2014b). User centered and context dependent personalization through experiential transcoding. In Proc. IEEE Consumer Communications and Networking (CCNC 2014), Workshop on Networking Issues in Multimedia Entertainment (NIME'14).

Foti, A. and Santucci. G. (2009). Increasing web accessibility through an assisted color specification interface for colorblind people, 41–48.

- Islam, M. A., Borodin, Y. and Ramakrishnan, I. V. (2010). Mixture model based label association techniques for web accessibility. In K. Perlin, M. Czerwinski, and R. Miller, editors, UIST, pages 67– 76. ACM.
- Lunn, D., Bechhofer, S. and Harper, S. (2008). A user evaluation of the sadie transcoder. In S. Harper and A. Barreto, editors, Proceedings of the 10th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, ASSETS 2008, Halifax, Nova Scotia, Canada, October 13-15, 2008, 137-144. ACM.
- Lunn, D., Harper, S. and Bechhofer, S. (2009). Combining sadie and axsjax to improve the accessibility of web content. In D. Sloan, C. Asakawa, and H. Takagi, editors, Proceedings of the International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility, W4A 2009, Madrid, Spain, April 20-21, 2009, ACM International Conference Proceeding Series, pages 75–78. ACM.
- Macías, M., González, J. and Sánchez, F. (2002). On adaptability of Web sites for visually handicapped people. In P. D. Bra, P. Brusilovsky, and R. Conejo, editors, *Proceedings of the second* International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH), volume 2347 of Lecture Notes in Computer Science, pages 264–273. Springer.
- Mirri, S., Prandi, C. and Salomoni, P. (2013). Experiential adaptation to provide user-centered web content personalization. In Proc. IARIA Conference on Advances in Human oriented and Personalized Mechanisms, Technologies, and Services (CENTRIC2013), pages 31–36.
- Mirri, S., Salomoni, P., Prandi, C. and Muratori, L. A. (2012). Gapforape: an augmented browsing system to improve web 2.0 accessibility. New Review of Hypermedia and Multimedia, 18(3) :205-229.
- Santucci, G. (2009). Vis-a-wis: Improving visual accessibility through automatic web content adaptation. In C. Stephanidis, editor, Universal Access in Human-Computer Interaction. Applications and Services, 5th International Conference, UAHCI 2009, Held as Part of HCI International 2009, San Diego, CA, USA, July 19-24, 2009. Proceedings, Part III, volume 5616 of Lecture Notes in Computer Science, pages 787–796. Springer.
- Tibbitts, B., Crayne, S., Hanson, V., Brezin, J., Swart, C. and Richards, J. (2002). HTML parsing in Java for accessibility transformation. In Proceedings of XML 2002 - XML Conference and Exposition.
- Troiano, L., Birtolo, C. and Miranda, M. (2008). Adapting palettes to color vision deficiencies by genetic algorithm. In Proceedings of the 10th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation, GECCO '08, 1065–1072, New York, NY, USA, ACM.

Impact de l'activité physique récente et à long terme sur le déclin cognitif lié à l'âge et effet modérateur du sexe

Iréné Lopez-Fontana^{1,2}, Carole Castanier^{1,2}, Christine Le Scanff^{1,2} and Alexandra Perrot^{1,2}

¹CIAMS, Université Paris - Sud, Université Paris - Saclay, 91405 Orsay Cedex, France

²CIAMS, Université d'Orléans, 45067, Orléans, France

irene.lopez-fontana@u-psud.fr

Résumé

Les objectifs de cette étude étaient de déterminer l'impact de l'activité physique récente et à long terme sur le déclin cognitif lié à l'âge et d'examiner les effets sur les hommes et les femmes. Cent trente-cinq hommes et femmes âgés de 18 à 80 ans ont complété le « Modifiable Activity Questionnaire » (MAQ) et le « Historical Leisure Activity Questionnaire » (HLAQ). Un score composite a été calculé à partir de cinq tâches expérimentales pour évaluer les fonctions cognitives. Les analyses de régression hiérarchique effectuées pour tester l'effet modérateur de l'activité physique récente sur la relation âge-cognition n'ont révélé aucun résultat significatif. À l'inverse, l'activité physique à long terme a montré ralentir le déclin cognitif lié à l'âge chez les femmes, mais pas chez les hommes. Cet article présente des hypothèses explicatives et ouvres de futures perspectives de recherche à explorer.

1 Introduction

Le vieillissement décrit un processus allant depuis la naissance d'un individu jusqu'à la fin de sa vie (Ska & Joanette, 2006). Les observations menées dans des études montrent que le vieillissement sain entraîne un déclin cognitif lié à l'âge (Aartsen, Smits, Van Tilburg, Knipscheer & Deeg, 2002; Kramer, Erickson & Colcombe, 2006) et que certaines fonctions cognitives commencent à diminuer depuis l'âge de 20 ans (Anguera et al., 2013; Li et al., 2004; Salthouse, 2009). Cependant, il existe une variabilité dans les trajectoires cognitives en fonction des individus, ce qui suggère l'existence de multiples facteurs qui peuvent influencer ce déclin cognitif lié à l'âge (Hertzog, Kramer, Wilson & Lindenberger, 2009; Thibeau, McFall, Wiebe, Anstey & Dixon, 2016). L'identification des facteurs de protection contre ce déclin est devenue un axe de recherche important au cours des dernières décennies (Andel et al., 2008; Kåreholt, Lennartsson, Gatz & Parker, 2011). L'activité physique a été

largement considérée comme une stratégie prometteuse pour ralentir le déclin cognitif lié à l'âge en maintenant la santé et la plasticité cérébrale tout au long de la vie (Pour revues : Bherer, Erickson & Liu-Ambrose, 2013; Erickson, Gildengers & Butters, 2013; Strasser & Fuchs, 2015). Cependant, les résultats ne sont pas toujours cohérents (Naqvi, Liberman, Rosenberg, Alston, & Straus, 2013). La littérature met en évidence que l'activité physique n'améliore pas systématiquement la cognition et que les conditions et les populations particulières peuvent influencer cette relation (Angevaren, Aufdemkampe, Verhaar, Aleman & Vanhees, 2008; Baker et al., 2010; Blumenthal et al., 1991; Emery & Gatz, 1990; Hill, Storandt & Malley, 1993; Jäger, Schmidt, Conzelmann & Roebers, 2015 ; Madden, Blumenthal, Allen & Emery, 1989). Ainsi, le niveau de sollicitation aérobie de l'activité a été largement étudié en tant que modérateur des effets de l'activité physique sur la cognition. La pratique d'une activité physique avec un haut niveau de sollicitation aérobie peut augmenter les avantages cardiovasculaires qui, à son tour, peuvent faciliter les processus neurogénératifs, neuroadaptifs et neuroprotecteurs. Cependant, des méta-analyses récentes ont conclu que l'amélioration cardiorespiratoire ne coïncidait pas avec les améliorations dans n'importe quel domaine cognitif (Pour revue: Young, Angevaren, Rusted, & Tabet, 2015). D'autres modérateurs, comme le type et l'intensité de la pratique (Baker et al., 2010; Iuliano et al., 2015), fréquence de la pratique par semaine (Larson et al., 2006), l'âge au moment de la pratique de l'activité physique (Boucard et al., 2012 ; Middleton, Barnes, Lui & Yaffe, 2010), la durée de l'observation de la pratique physique (Kelly et al., 2014), ou encore le sexe des participants (Colcombe & Kramer, 2003) peuvent également influencer l'effet de l'activité physique sur le déclin cognitif lié à l'âge. Parmi ces modérateurs potentiels, la durée de l'observation de la pratique physique et le sexe du sujet ont reçu moins d'attention. Pourtant, ces deux modérateurs semblent mériter d'être étudiés plus en profondeur afin de mieux comprendre la diversité des résultats concernant la relation entre l'activité physique et la cognition (Dik, Deeg, Visser, & Jonker, 2003; Kåreholt et al., 2011).

1.1 Longueur de l'observation de la pratique physique et des effets sur le déclin cognitif lié à l'âge

Les effets positifs de l'activité physique sur les résultats cognitifs ont attiré des niveaux particulièrement élevés d'attention chez les adultes âgés de 60 ans et plus (Bunce & Murden, 2006; Renaud, Bherer & Maquestiaux, 2010). Néanmoins, certains aspects du déclin cognitif commencent à apparaître dès le début de l'âge adulte (Salthouse, 2009) et une littérature croissante démontre l'intérêt d'étudier la relation entre l'activité physique et la connaissance tout au long de la vie, et non seulement chez les personnes âgées (Andel, Silverstein, & Kåreholt, 2014 ; Gow, Pattie & Deary, 2017 ; Hillman et al., 2006; Prakash et al., 2015). Ce qui reste à clarifier, cependant, est de savoir si la cognition à la fois à l'âge adulte et à la vieillesse est fortement influencée par une activité physique récente ou si une activité physique passée à long terme est nécessaire pour préserver efficacement la cognition du déclin cognitif lié à l'âge. Ainsi, l'observation de l'effet de l'activité physique à différents âges de la durée de vie adulte est donc essentielle. En effet, un nombre croissant de chercheurs étudient l'effet préventif possible de l'activité physique à long terme (Andel et al., 2014 ; Kesse-Guyot, Andreeva, Lassale, Hercberg & Galan, 2014). Grâce à une analyse de l'activité physique autodéclarée pratiquée pendant l'adolescence, à l'âge de 30 ans, à l'âge de 50 ans et à la fin de la vie, Middleton et al. (2010) ont montré que les niveaux d'activité physique au cours de l'adolescence ont particulièrement contribué à prédire le déclin cognitif à l'âge de 60 ans. Une étude utilisant la neuroimagerie sur un échantillon statistique aléatoire de 2 000 participants a démontré que les personnes physiquement actives à la mi-vie avaient tendance à avoir un volume total de cerveau plus important lorsqu'il a été examiné 21 ans plus tard (âges de 65 à 79 ans) que les sujets sédentaires (Rovio et al., 2010). Ces études encouragent les recherches futures à examiner la quantité d'activité physique sur une longue période dans le passé (soit plus d'un an) (Kelly et al., 2014) pour aider à élucider t les effets bénéfiques de l'activité physique sur la cognition (Gearin & Fien, 2016). La présente étude vise

à mieux évaluer l'intérêt d'observer les activités physiques récentes et passées à long terme afin de comprendre les deux impacts sur la cognition tout au long de la durée de vie des adultes.

1.2 Le sexe en tant que modérateur du rôle protecteur de l'activité physique sur la cognition

Bien que le sexe ne soit pas le principal sujet de leur méta-analyse, Colcombe et Kramer (2003) ont remarqué que l'activité physique avait davantage d'effets sur la cognition des femmes que celle des hommes. Plusieurs années plus tard, une autre revue a confirmé que des études incluant plus de femmes présentaient des effets plus importants que les études avec moins de femmes (Kramer et al., 2006). À la suite de ces résultats, certains chercheurs ont décidé d'inclure uniquement des femmes dans leur échantillon (e.g., Liu-Ambrose et al., 2010 ; Nagamatsu et al., 2013). En effet, de nombreuses études d'observation et d'intervention impliquant seulement des femmes ont trouvé des effets bénéfiques de l'activité physique (Dupuy et al., 2015 ; Weuve, et al., 2004 ; Yaffe, Barnes, Nevitt, Lui & Covinsky, 2001). Par ailleurs, certains des rares articles impliquant seulement des hommes n'ont trouvé aucun effet de l'activité physique sur la cognition (Carlson et al., 2008; Cassilhas et al., 2007). Toutefois, certaines études impliquant les deux sexes n'ont trouvé de résultats positifs que chez les hommes. Par exemple, une étude de suivi de 16 ans a révélé un effet protecteur de la marche quotidienne chez les hommes, mais pas chez les femmes (Simons, Simons, McCallum & Friedlander, 2006). D'autres études ont montré l'intérêt d'observer les différences sexuelles dans les effets de l'activité physique à long terme sur la cognition. Par exemple, (Aarsland, Sardahaee, Anderssen & Ballard, 2010) ont procédé à une revue systématique de la relation entre l'activité physique et le déclin cognitif dans les études longitudinales. Ces analyses ont révélé que, sur cinq études, une n'a signalé aucun effet significatif, deux ont eu des effets positifs sur les deux sexes et deux ont trouvé des effets positifs seulement chez les femmes. Cependant, les hommes à la retraite (N = 295) qui ont maintenu une activité physique de moyenne à faible intensité sur dix ans ont également montré un déclin cognitif retardé (Van Gelder et al., 2004). Une autre étude longitudinale comprenant 1 643 participants âgés de 45 à 75 ans (58% de femmes), la fréquence de l'activité physique a eu un lien significatif avec la cognition générale 21 à 24 ans plus tard chez les femmes seulement (Kåreholt et al., 2011). À l'inverse, Dik et ses collègues (2003) ont constaté que les hommes actifs à des niveaux faibles ou modérés âgés de 15 à 25 ans avaient une meilleure vitesse de traitement à un âge avancé (62 à 85 ans), mais pas les femmes. Ainsi, la combinaison du sexe du sujet et de la période d'observation de la pratique physique en tant que modérateurs potentiels des avantages de l'activité physique sur le déclin cognitif lié à l'âge soulève les questions suivantes: Débuter une activité physique à un âge avancé serait-il suffisant pour préserver la cognition, ou l'activité physique devraitelle être entreprise comme un comportement préventif et maintenu pendant toute la vie ? La réponse est-elle la même pour les hommes et pour les femmes ?

1.3 Objectifs et hypothèses de cette étude

À ce jour, aucune étude n'a examiné directement comment le rôle modérateur potentiel du sexe pourrait influencer les effets de l'activité physique récente et à long terme sur la cognition tout au long de l'âge adulte. Les objectifs de cette étude étaient (1) d'évaluer l'impact de l'activité physique récente et passée à long terme sur la cognition tout au long de l'âge adulte et (2) de clarifier le rôle modérateur du sexe sur la relation entre l'activité physique et le déclin cognitif lié à l'âge. Nous avons émis l'hypothèse que l'activité physique à long terme influence fortement la cognition actuelle et que l'activité physique est plus efficace pour protéger la cognition chez les femmes que chez les hommes.

2 Méthode

2.1 Participants

Cent trente-cinq participants âgés de 18 à 80 ans (M = 48,79; Ecart-Type (ET) = 17,92) ont participé à l'étude. L'échantillon total est composé de 50,37% de femmes (soit N = 68). Le nombre moyen d'années d'études était de 14,55 (ET = 3,28) et le Niveau Socio-Culturel (NSC) moyen était de 3,88 (ET = 1,23). La participation était volontaire. Les critères d'inclusion étaient (a) être âgé de plus de 18 ans; (b) avoir un score mental adéquat au test de « Mini Mental Statut Examination » (MMSE> 26) (Folstein, Folstein & McHugh, 1975; Hebert, Bravo & Girouard, 1992); Et (c) avoir un score inférieur à 16 sur l'échelle de dépression Beck (Beck, Steer & Carbon, 1988). Les critères de noninclusion étaient (a) l'utilisation de médicaments pouvant affecter les fonctions cognitives; Et (b) être daltonien. Chaque participant a donné un consentement écrit éclairé, et le comité d'éthique local a approuvé l'étude.

2.2 Mesures

Activité physique. L'activité physique a été évaluée via deux questionnaires validés : le « Modifiable Activity Questionnaire » (MAQ) (Kriska, Knowler, LaPorte, Drash, Wing, Blair, ... & Kuller, 1990) a mesuré la pratique physique récente (c'est-à-dire au cours des 12 derniers mois), et le « Historical Leisure Activity Questionnaire » (HLAQ) (Kriska, Sandler, Cauley, LaPorte, Horn & Pambianco, 1988) a évalué la pratique physique à long terme (à partir de l'âge de 12 ans). Les deux questionnaires ont mesuré le type, l'intensité, la fréquence et la durée de l'activité physique, et ont permis une analyse quantitative de l'activité physique. Cette méthode a été suggérée comme étant plus efficace que la comparaison de groupes avec une activité physique élevée, faible, ou pas d'activité (Blondell, Hammersley-Mather & Veerman, 2014).

L'activité physique récente a été évaluée à l'aide du MAQ (Kriska et al., 1990). Ce questionnaire a été choisi car il a été démontré qu'il était adapté pour des études de population à grande échelle portant sur les relations entre l'activité physique et les résultats de santé, y compris les jeunes, les personnes d'âge moyen et les personnes âgées (Vuillemin et al., 2000). L'information recueillie dans le cadre de ce questionnaire a fourni deux scores d'activité physique récente. Tout d'abord, la participation moyenne aux activités physiques de loisirs au cours des 12 derniers mois a été calculée pour obtenir un indicateur exprimé en heures par semaine d'activité physique récente. Deuxièmement, un indicateur de dépenses énergétiques a été calculé en multipliant le nombre d'heures par semaine de chaque activité physique par son coût métabolique estimé basé sur la classification des intensités d'activité physique (Ainsworth et al., 2000). Cet indicateur de dépenses énergétiques a été exprimé en équivalent métabolique (MET) par semaine.

L'activité physique à long terme a été évaluée à l'aide du HLAQ (Kriska et al., 1988). Ce questionnaire a été choisi car il fournit une mesure utile de l'activité de vie moyenne (Chasan-Taber et al., 2002). Le HLAQ évalue les activités physiques de loisirs pendant quatre périodes d'âge: 12-18 ans, 19-34 ans, 35-49 ans et 50 ans et plus. En ce qui concerne l'activité physique récente du MAQ, deux scores de l'activité physique passée à long terme ont été obtenus auprès du HLAQ : un score d'heures par semaine et un score de MET par semaine. Premièrement, la participation moyenne pour chaque activité effectuée à partir de l'âge de 12 ans a été estimée en heures par semaine (voir la formule développée par Kriska et al., 1988). Deuxièmement, pour chaque activité, les heures / semaine ont été multipliées par le MET de l'activité correspondante. Troisièmement, les valeurs moyennes de MET / semaine ont été calculées (Boucard et al., 2012; Rouillard et al., 2016). Les

scores globaux des heures moyennes / semaine à partir de l'âge de 12 ans et de MET / semaine à partir de l'âge de 12 ans ont été utilisés pour l'analyse statistique.

Fonctions cognitives. L'analyse des tests cognitifs séparément pour explorer des associations potentielles spécifiques au domaine n'est pas recommandée (Gow et al., 2017). Ainsi, conformément à certaines études antérieures (e.g., Barnes et al., 2013 ; Wilson, Scherr, Schneider, Tang & Bennett, 2007), nous avons calculé un score composite de différentes tâches. L'objectif était d'évaluer une batterie de fonctions cognitives qui comprend des mesures de la vitesse de traitement de l'information, de la fonction d'inhibition, de la flexibilité mentale, de la capacité associative, de l'attention sélective, de la vitesse de comparaison perceptuelle, de la mémoire de travail, de l'intelligence fluide et du raisonnement non verbal absolu (Kortte, Horner & Windham, 2002; Salthouse, 1992, 1993). L'utilisation d'une approche multitâche avec une bonne fiabilité interne et une structure interne satisfaisante entre les tests cognitifs semblent fournir une mesure adéquate de la cognition tout en limitant le problème de l'impureté de la tâche (Miyake et al., 2000). Ce score composite comprend des tâches cognitives approuvées et fréquemment utilisées, c'est-à-dire le « Trail Making Test » (TMT, Corrigan & Hinkeldey, 1987), le « Stroop Test » (Stroop, 1935), le « Digit Symbol-Substitution Test » (DSST, (Wechsler, 1997) et « Matrix Reasoning Test » (Wechsler, 1999). Le TMT : Ce test de papier et de crayon est l'un des plus fréquemment utilisés parmi les études qui évaluent les fonctions exécutives (Etnier et al., 2009). Le test se compose de deux parties: A (TMT -A) et B (TMT-B). Dans TMT-A, les participants devaient tracer une ligne reliant les nombres de 1 à 25. Dans TMT-B, le participant devait tracer une ligne en alternance entre lettres et les nombres en ordre croissant (i.e., 1-A-2-B-3-C, etc.). La différence de temps (B-A) a été calculée pour isoler les exigences de la fonction exécutive du TMT-B à partir des processus généraux de perception et de réponse (Arbuthnott & Frank, 2000; Salthouse, Atkinson et Berish, 2003). Le « Stroop Test »: Ce test est également fréquemment utilisé pour mesurer des fonction exécutives (Etnier et al., 2009). La version choisie pour cette étude comportait quatre conditions : la dénomination et la lecture des couleurs pour les conditions neutres, puis l'inhibition et la flexibilité pour les conditions incongrues. Seules les 3ème et 4ème conditions ont été incluses dans le traitement. Dans la troisième condition, le stimulus est un nom de couleur imprimé avec une couleur d'encre différente, telle que "jaune" imprimée à l'encre bleue. Les participants ont été invités à dire la couleur du mot sans le lire. La quatrième condition est similaire à la troisième, mais certains mots sont encadrés. Pour ces mots encadrés, les participants devaient lire le mot sans tenir compte de la couleur de l'encre. Dans la présente étude, seules les troisième et quatrième conditions ont été utilisées afin d'éviter les effets de plafond des première et deuxième conditions et de limiter les biais associés aux décrémentations liées à l'âge dans la performance du test Stroop (Daigneault, Braun & Whitaker, 1992; Van Boxtel, Ten Tusscher, Metsemakers, Willems, et Jolles, 2001). La troisième condition évalue l'inhibition et la quatrième condition mesure la flexibilité cognitive (Moering, Schinka, Mortimer & Graves, 2004; Van Boxtel, Ten Tusscher, Metsemakers, Willems & Jolles, 2001). Par conséquent, ces conditions ont été considérées comme deux tests cognitifs différents. Le DSST : Ce test de papier et de crayon est une composante de l'échelle Wechsler de l'intelligence révisée (Wechsler, 1997). En se référant à un code de symbole numérique, le participant doit dessiner le symbole approprié pour chaque chiffre. Le « Matrix Reasoning Test » : ce test de raisonnement est une sous-partie de l'échelle abrégée d'intelligence de Wechsler (Wechsler, 1999). Les participants devaient sélectionner la partie manquante de la matrice incomplète à partir de cinq options proposées sous la matrice. Les scores bruts de chaque test cognitif ont été transformés en scores z. Pour le TMT, les z-scores de la soustraction B-A ont été multipliés par -1, de sorte que, comme les autres tests, un score élevé reflète une meilleure performance qu'un score bas. Ensuite, on a calculé un score moyen des cinq scores z (c'est-à-dire le test de raisonnement Matrix, 3ème et 4ème état du Stroop Test, DSST et TMT B-A). Ce score composite est défini comme "fonctions exécutives".

2.3 Collecte des données

Les participants ont été invités à participer à cette étude par courrier électronique ou par prospectus. Sur environ 200 invitations, 135 ont complété la procédure. Tout d'abord, les questions sur les critères d'inclusion et de non-inclusion ont été posées par téléphone. Deuxièmement, une entrevue face à face était organisée. Au cours de l'entrevue, le MMSE et l'échelle de Beck ont d'abord été évalués afin de vérifier si le volontaire remplissait les critères d'inclusion et de non-inclusion. Cent trente-cinq participants ont satisfait à tous les critères d'inclusion et de non-inclusion et ont complété les mesures de la présente étude dans une entrevue face à face. Tout d'abord, les tests cognitifs ont été administrés dans le même ordre à tous les participants (c'est-à-dire au test de raisonnement Matrix, 3ème et 4ème condition du Stroop Test, DSST et TMT B-A). Deuxièmement, le MAQ a été administré. Enfin, les participants ont rempli le HLAQ.

2.4 Analyse des données

Le programme SPSS Statistics 19 a été utilisé pour effectuer les analyses. Dans cette étude, le niveau socioculturel (NSC) a été calculé pour tenir compte de la stimulation cognitive professionnelle en plus des années d'éducation (Kalafat, Hugonot-Diener & Poitrenaud, 2003 ; Poitrenaud & Moreaux, 1976). Cette précaution a été prise pour limiter les éventuels effets de cohorte en raison des grandes différences d'âge dans notre échantillon. Ainsi, dans chaque analyse, le NSC a été contrôlé, l'âge était considéré comme une variable prédictive continue et le score composite des "fonctions cognitives" était la variable de critère. Les variables modératrices étaient l'activité physique et le sexe. L'analyse préliminaire comprenait trois étapes. Tout d'abord, une analyse de composante principale (Wilson, Scherr, Schneider, Tang, & Bennett, 2007) et un coefficient alpha de Cronbach (Boucard et al., 2012) ont été calculés afin de déterminer la pertinence du score composite en évaluant dans quelle mesure les cinq tests sélectionnés constituant le score composite mesuraient une seule construction sous-jacente. Deuxièmement, les corrélations de Pearson et l'analyse de régression ont été utilisées pour vérifier la relation de base entre l'âge et la cognition. L'objectif était de mesurer la validité de nos modèles statistiques étant donné que toutes nos analyses reposent sur l'hypothèse que la cognition diminue avec l'âge, à partir de la jeune adulte (Salthouse et al., 2009). Troisièmement, les corrélations de Pearson et les tests t ont été utilisés afin de déterminer les caractéristiques de l'échantillon et de comparer les aspects sociodémographiques, l'activité physique (récente et passée à long terme) et les scores cognitifs des femmes et des hommes. Après une analyse préliminaire, des analyses modérées de régression hiérarchique, suivies des procédures décrites par Aiken et West (1991), ont été réalisées pour tester les hypothèses. Toutes les variables étaient centrées sur la moyenne avant d'être soumises à des analyses de régression hiérarchique modérées. Les hypothèses d'analyse paramétrique et multivariée (Tabachnick, Fidell & Osterlind, 2001) ont été satisfaites pour le présent ensemble de données. Des analyses séparées ont été effectuées pour tester le rôle protecteur de l'activité physique récente sur le déclin cognitif lié à l'âge, d'une part, et l'activité physique passée à long terme d'autre part. Pour chacune de ces activités physiques, deux modèles différents ont été examinés dans cette étude. Le premier modèle vise à mesurer l'effet modérateur de l'activité physique sur les relations cognitives selon l'âge (voir figure 1). Le deuxième modèle vise à évaluer l'effet modérateur du sexe et de l'activité physique sur les relations âge-cognition (voir figure 2). Lorsque la triple interaction (c'està-dire âge × sexe × activité physique) était significative, une dernière analyse par sexe a été réalisée.

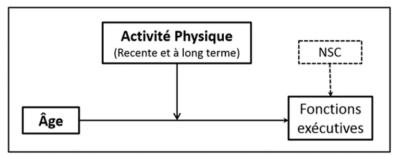


Figure 1: Modèle 1 : Effet modérateur de l'activité physique sur la relation âge-cognition, avec contrôle du niveau socio-culturel (NSC).

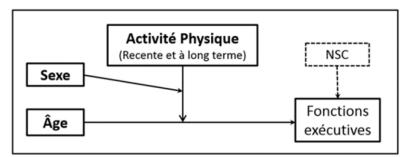


Figure 2: Modèle 2 : Effet modérateur du sexe et de l'activité physique sur la relation âge-cognition, puis test de résistance du modèle à l'ajout du NSC en variable contrôle.

3 Résultats

Analyses préliminaires

Pertinence des fonctions cognitives du score composite

Après l'extraction des facteurs en utilisant la méthode des composantes principales, tant le critère de Kaiser (valeur propre > 1) que le Scree-test ont suggéré une solution à un seul facteur (avec des poids factoriels allant de 0.73 à 0.89), correspondant à 67.1% de la variance totale. De plus, la fiabilité interne du score composite est bonne (alpha de Cronbach standardisé = 0.88). Ces résultats montrent que les différents tests inclus dans le score composite de « fonctions exécutives » mesurent un construit latent unidimensionnelle.

Données démographiques et informations de base par comparaison entre hommes et femmes.

Comme le montre le tableau 1, aucune différence significative d'âge, de niveau socio-culturel, de pratique de l'activité physique à court terme, ni de niveau cognitif n'est observée entre les hommes et les femmes de cet échantillon. La seule différence significative concerne la pratique d'activité sur le long terme, pour laquelle les t-tests montrent que les hommes ont rapporté pratiquer plus d'heures d'activité physique que les femmes (t(133) = 2.86, p < .01), et à des niveaux d'intensité plus élevés (mesurés en METs) (t(133) = 3.58, p < .001).

La relation de base entre l'âge et la cognition a démontré que l'âge était négativement corrélé à la cognition (r = -59, p <0.001). Entré dans l'analyse de régression après avoir contrôlé le niveau socioculturel (NSC, $\beta = 0.38$, p <0.001), l'âge était encore un prédicteur significatif du déclin cognitif, β = -50, p <0,001, avec les personnes âgées ayant des scores de fonctions cognitives plus faibles. Le modèle global expliquait 49% de la variance des fonctions cognitives, F (2, 132) = 64,15, p <0,001.

	Femme N = 68	Homme N = 67			
Variables	M (ET)	M (ET)	t test		
Âge	48.26 (17.99)	49.31 (17.82)	-0.33		
Années d'études	13.88 (3.26)	14.45 (3.29)	-0.35		
Niveau Socio-Culturel	3.97 (1.23)	3.98 (1.22)	-0.89		
Fonctions exécutives	0.03 (1.00)	-0.03 (0.93)	0.38		
AP récente Heures/semaine	2.89 (3.89)	3.59 (4.38)	-1.14		
AP récente MET/semaine	17.54 (24.08)	27.63 (47.96)	-1.78		
AP long terme Heures/semaine	2.37 (2.75)	4.11 (4.16)	-2.86 ^b		
AP long terme MET/semaine	45.88 (48.43)	89.01 (86.24)	-3.58 ^a		

Note. M = Moyenne. ET = Ecart-type. AP = Activité physique. MET = Metabolic Equivalent ° p <.001; b p<.01; c p<.05.

Analyse hiérarchique de régression multiple 3.2

Effet modérateur de l'activité physique sur le déclin cognitif lié à l'âge

Aucun résultat significatif n'a été trouvé concernant l'effet modérateur de l'activité physique récente, ni passée à long terme sur le déclin cognitif lié à l'âge (les résultats de chaque étape des procédures recommandées par Aiken et West (1991) sont disponibles dans le tableau 2).

Variables	Activité Physique Récente			Activité Physique Long Terme			
	Etape 1	Etape 2	Etape 3	Etape 1	Etape 2	Etape 3	
Niveau Socio-Culturel (NSC)	.384ª	.405ª	.395ª	.384ª	.383ª	.381ª	
Âge	498ª	482ª	505°	498ª	495ª	496ª	
Activité Physique (AP)		.064	.030		.019	.019	
AP x Âge			.082			.011	
R ²	.493°	.496ª	.502ª	.493ª	.493ª	.493°	
ΔR^2	-	.004	.006	-	.000	.000	

Note. a p <.001

Tableau 2: Modèle 1 de valeurs β normalisées pour chacune des analyses de régression hiérarchique multiples

Rôle du sexe dans l'effet modérateur de l'activité physique sur le déclin cognitif lié à l'âge

Aucun résultat significatif n'a été trouvé concernant l'effet modérateur du sexe et l'activité physique récente sur le déclin cognitif lié à l'âge. En ce qui concerne l'effet modérateur du sexe et

Tableau 1: Caractéristiques de l'échantillon

l'activité physique passée à long terme, la dernière étape de l'analyse impliquant l'inclusion de la triple interaction (i.e., âge × sexe × activité physique à long terme) a révélé une proportion incrémentielle importante de variance ($\Delta R^2 = .021$, p = .02), avec une contribution significative de la triple interaction ($\beta = -.74$, p = .02). Ce résultat suggère que les différences entre les hommes et les femmes existent dans l'effet modérateur de l'activité physique de loisirs passée à long terme sur le déclin cognitif lié à l'âge (les résultats de chaque étape des procédures recommandées par Aiken et West (1991) sont disponibles dans le tableau 3). En effet, une analyse plus détaillée a montré qu'il y avait un effet modérateur de l'activité physique passée à long terme sur le déclin cognitif lié à l'âge chez les femmes ($\beta = 0.22$, p = 0.03). Mais pas chez les hommes ($\beta = -10$, ns). Comme le montre la figure 3, chez les femmes, la pratique de l'activité physique active à long terme ralentit le déclin cognitif lié à l'âge.

Variables		Activité Physique Récente			Activ	Activité Physique à Long Terme			
	Etape 1	Etape 2	Etape 3	Etape 4	Etape 1	Etape 2	Etape 3	Etape 4	
Niveau Socio-Culturel (NSC)	.384a	.415a	.404a	.399a	.3841	.387ª	.388ª	.3652	
Âge	498a	475ª	686 ^b	708b	498a	488a	696 ^b	490°	
Activité Physique (AP)		.077	.060	.161		.038	.084	.435	
Sexe		064	061	088		060	062	147	
AP x Âge			.076	.540			004	.750°	
AP x Sexe			018	092			.221	.069	
Âge x Sexe			.199	.228			050	354	
Åge x Sexe x AP				480				749°	
R^2	.493a	.500a	.510a	.517ª	.4932	.497ª	.502ª	.522²	
ΔR^2	-	.007	.009	.008	-	.004	.005	.021°	

Note. a p <.001; b p<.01; c p<.05.

Tableau 3 : Valeurs β normalisées du Modèle 2 pour chaque étape des analyses multiples de régression hiérarchique

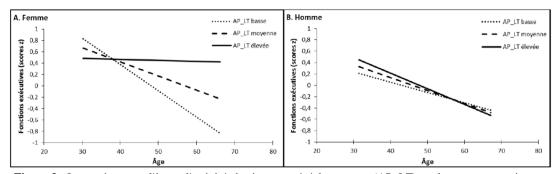


Figure 3 : Interaction entre l'âge et l'activité physique passée à long terme (AP_LT) sur le score composite des fonctions exécutives chez les femmes (partie A) et les hommes (partie B)

Discussion

La présente étude a examiné l'impact de l'activité physique récente et passée à long terme sur les fonctions cognitives, du début de l'âge adulte à un âge avancé, et a exploré les effets chez les hommes et les femmes. Sur la base de l'analyse de l'activité physique récente, nous ne pouvons pas affirmer que l'activité physique récente est efficace pour préserver la cognition, quel que soit le sexe. Ces résultats pourraient suggérer que l'activité physique peut prendre plusieurs années pour influer sur la santé du cerveau, comme mentionné dans les études précédentes (Beason-Held, Moghekar, Zonderman, Kraut & Resnick, 2007; Rovio et al., 2005). En outre, ces résultats pourraient confirmer l'intérêt d'observer des effets à long terme sur la cognition (Kelly et al., 2014). L'activité physique passée à long terme a eu un impact positif sur les fonctions cognitives chez les femmes, mais pas chez les hommes, bien que les hommes aient signalé avoir pratiqué davantage d'activité physique que les

Les résultats des effets protecteurs de l'activité physique à long terme sur la cognition uniquement chez les femmes trouvées dans la présente étude sont cohérents avec certaines études antérieures (e.g., Kåreholt et al., 2011; Sumic, Michael, Carlson, Howieson & Kaye, 2007). Par exemple, une étude chez des hommes et des femmes âgés a démontré que plus de quatre heures par semaine d'exercice physique a contribué, après un suivi moyen de 4.7 ans, au vieillissement cérébral sain chez les femmes, mais pas les hommes (Sumic et al., 2007). L'effet positif significatif de l'activité physique à long terme sur les performances cognitives trouvé uniquement chez les femmes dans cette étude confirme notre hypothèse initiale.

Les principales explications plausibles concernant les différences entre les hommes et les femmes dans notre étude se divisent en trois catégories : les différences biologiques, l'influence du genre et les facteurs psychologiques. Tout d'abord, les divergences biologiques entre les sexes peuvent expliquer les résultats trouvés dans la présente étude. L'hypothèse la plus souvent suggérée dans la littérature est l'explication hormonale. Les hormones peuvent jouer un rôle dans les différents effets de l'activité physique chez les femmes et les hommes, en particulier les oestrogènes, qui ont été démontrés comme étant neuroprotecteurs (Colcombe & Kramer, 2003; Erickson, Colcombe, Elavsky, McAuley, Korol, Scalf & Kramer, 2007). D'autres aspects biologiques peuvent être impliqués dans les différentes réponses liées à l'activité physique chez les sexes. Par exemple, une étude d'intervention a montré que six mois d'activité aérobie de haute intensité avaient des effets spécifiques en fonction du sexe, sur les aspects physiologiques et cognitifs, malgré des gains comparables dans la santé cardio-respiratoire et la réduction de la graisse corporelle (Baker et al., 2010). Ainsi, l'impact des différentes réponses biologiques liées à l'activité physique chez les hommes et les femmes peut mériter une investigation plus poussée dans les études futures. Une deuxième explication des différents résultats entre hommes et femmes dans cette étude peut être l'effet de genre. Dans la plupart des cas, les garçons et les filles présentent généralement des différences quant aux jouets utilisées et aux activités pratiquées (Etaugh, 1983). Au fur et à mesure que l'âge avance, les différences de fréquence et de choix de l'activité physique sont également observées chez les hommes et les femmes (Caspersen, Pereira & Curran, 2000). Cependant, les activités sélectives peuvent impliquer des fonctions cognitives précises et influencer le niveau de performance dans des tâches spécifiques (Habacha, Molinaro & Dosseville, 2014 ; Voss et al., 2010). Ensuite, indépendamment des améliorations physiques, la plasticité dépendant de l'expérience et peut différer en fonction du choix du type d'activité pratiquée. Par exemple, le Tai Chi a davantage amélioré la cognition qu'un programme incluant des exercices d'endurance, de résistance / force et de flexibilité (Taylor-Piliae et al., 2010). Dans une autre étude, la danse était l'exercice le plus efficace, parmi onze activités physiques, dans la préservation des fonctions cognitives (Verghese et al., 2003). Dans la présente étude, l'évaluation à long terme a révélé que les hommes avaient des dépenses énergétiques nettement plus élevées que les femmes, mais n'ont bénéficié d'aucun impact cognitif.

Ces résultats sont conformes à des études antérieures (e.g., Sumic et al., 2007) et soulèvent la question de l'importance de l'intensité et de l'amélioration de la condition physique dans l'obtention de bénéfices cognitifs (Pour revue : Young et al., 2015). Dans la présente étude, il est plausible que les effets bénéfiques trouvés uniquement chez les femmes soient directement liés au type d'activités pratiquées, ou à la manière dont les activités ont été pratiquées plutôt qu'à leur sexe. Le rôle joué par le type d'activité physique sur les fonctions cognitives devrait être étudié plus largement dans le futur.

Un dernier domaine qui a également été impliqué dans les différences de sexe dans la présente étude concerne les mécanismes psychologiques. En effet, certains facteurs psychologiques peuvent expliquer la complexité de la relation entre l'activité physique et la cognition (Angevaren, Aufdemkampe, Verhaar, Aleman et Vanhees, 2008). Par exemple, l'impact de l'activité physique peut dépendre d'une confiance approfondie dans sa capacité à préserver la cognition, tout comme l'effet placebo bien connu dans les alternatives pharmacologiques (Nagamatsu et al., 2014). Ces explications plausibles nous invitent à explorer plus en profondeur la manière dont l'interaction complexe entre les différences intra et inter-individuelles peut influencer la relation entre l'activité physique et la cognition chez les hommes et les femmes.

Bien que cet article ait plusieurs points forts, certaines limitations doivent être mentionnées. Premièrement, l'exercice physique a été mesuré à l'aide de données auto-déclarées. Même si tous les questionnaires et les tests cognitifs utilisés dans cette étude sont valides et couramment utilisés au sein de la littérature, cette méthode comporte des limites liées à une éventuelle désirabilité sociale ou à un biais de rappel. Le biais de rappel pourrait être particulièrement pertinent chez les personnes âgées, compte tenu des déclins liées à l'âge sur la mémoire (Hertzog et al., 2009). Néanmoins, il convient de noter que les questionnaires auto-déclarés ont été démontrés comme étant des mesures valides et fiables, même chez les personnes âgées (Havari & Mazzonna, 2015). En outre, dans la présente étude, tous les participants de plus de 50 ans ne présentaient pas de déficience cognitive (MMSE > 26), ce qui permet de réduire les risques de biais de rappel chez les personnes âgées (Cumming & Klineberg, 1994). Deuxièmement, la méthode transversale de la présente étude ne permet pas d'inférences sur la causalité dans la relation entre l'activité et les fonctions cognitives. En effet, le déclin cognitif peut-il conduire à un manque d'activité plutôt que l'inverse? Même si de nombreuses études prospectives longitudinales (e.g., Deary, Whalley, Batty, &t Starr, 2006) et d'intervention (e.g., Albinet et al., 2016; Voss et al., 2010) suggèrent que c'est l'activité physique qui entraine des effets bénéfiques sur certains aspects cognitifs et non l'inverse, d'autres recherches sont nécessaires avant qu'une conclusion définitive puisse être avancée. Troisièmement, étant donné que l'objectif principal de cette étude était d'observer les effets modérateurs de l'activité physique et du sexe sur la cognition à l'âge adulte, un échantillon présentant une répartition équilibrée par âge et par sexe a été recruté afin d'obtenir une observation valable. Néanmoins, cette répartition équilibrée pourrait affecter la généralisation et de futures études parmi les échantillons plus représentatifs sont encouragées.

Pour conclure, l'originalité de la présente étude a été qu'elle a étudié le rôle modérateur de l'activité physique à long terme et récente, ainsi que l'influence du sexe du sujet sur le lien entre l'activité physique et le déclin cognitif lié à l'âge. En clarifiant le rôle des modérateurs impliqués dans la relation entre l'activité physique et la cognition, cet article fournit des informations pratiques pour accroître l'efficacité des programmes de promotion de la santé et une contribution essentielle à la littérature actuelle qui pourrait expliquer plusieurs divergences dans les études antérieures concernant les effets de l'activité physique sur le déclin cognitif lié à l'âge.

Références

Aarsland, D., Sardahaee, F. S., Anderssen, S., & Ballard, C. (2010). Is physical activity a potential preventive factor for vascular dementia? A systematic review. Aging Mental Health, 14. doi:10.1080/13607860903586136

Aartsen, M. J., Smits, C. H. M., van Tilburg, T., Knipscheer, K. C. P. M., & Deeg, D. J. H. (2002). Activity in older adults Cause or Consequence of Cognitive Functioning? A Longitudinal Study on Everyday Activities and Cognitive Performance in Older Adults. The Journals of Gerontology: Series B, 57(2), 153-162. doi:10.1093/geronb/57.2.P153

Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Whitt, M. C., Irwin, M. L., Swartz, A. M., Strath, S. J., ... others. (2000). Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. Med. and science in sports and exercise, 32(9), 498-504. doi:10.1097/00005768-200009001-00009

Albinet, C. T., Abou-Dest, A., André, N., & Audiffren, M. (2016). Executive functions improvement following a 5-month aquaerobics program in older adults: Role of cardiac vagal control in inhibition performance. Biological Psychology, 115, 69-77. doi:10.1016/j.biopsycho.2016.01.010

Andel, R., Crowe, M., Pedersen, N. L., Fratiglioni, L., Johansson, B., & Gatz, M. (2008). Physical exercise at midlife and risk of dementia three decades later: a population-based study of Swedish twins. The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 63(1), 62-66. doi:10.1093/gerona/63.1.62

Andel, R., Silverstein, M., & Kåreholt, I. (2014). The Role of Midlife Occupational Complexity and Leisure Activity in Late-Life Cognition. The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 70(2), 314-321. doi:10.1093/geronb/gbu110

Angevaren, M., Aufdemkampe, G., Verhaar, H. J. J., Aleman, A., & Vanhees, L. (2008). Physical activity and enhanced fitness improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. Cochrane Database of Systematic Reviews, 3(3). doi:10.1016/S1353-8020(08)70231-1

Anguera, J. A., Boccanfuso, J., Rintoul, J. L., Al-Hashimi, O., Faraji, F., Janowich, J., ... others. (2013). Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*, 501(7465), 97-101. doi:10.1038/nature12486

Arbuthnott, K., & Frank, J. (2000). Trail making test, part B as a measure of executive control: validation using a set-switching paradigm. Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 22(4), 518-528. doi:10.1076/1380-3395(200008)22:4;1-0;FT518

Baker, L. D., Frank, L. L., Foster-Schubert, K., Green, P. S., Wilkinson, C. W., McTiernan, A., ... & Duncan, G. E. (2010). Effects of aerobic exercise on mild cognitive impairment: a controlled trial. Archives of neurology, 67(1), 71-79. doi:10.1001/archneurol.2009.307

Barnes, D. E., Santos-Modesitt, W., Poelke, G., Kramer, A. F., Castro, C., Middleton, L. E., & Yaffe, K. (2013). The Mental Activity and eXercise (MAX) trial: a randomized controlled trial to enhance cognitive function in older adults. JAMA internal medicine, 173(9), 797-804. doi:10.1001/jamainternmed.2013.189

Beason-Held, L. L., Moghekar, A., Zonderman, A. B., Kraut, M. A., & Resnick, S. M. (2007). Longitudinal Changes in Cerebral Blood Flow in the Older Hypertensive Brain. Stroke, 38(6), 1766-1773. doi:10.1161/STROKEAHA.106.477109

Beck, A. T., Steer, R. A., & Carbon, M. G. (1988). Psychometric properties of the Beck Depression Inventory: Twenty-five years of evaluation. Clinical psychology review, 8(1), 77-100.

Bherer, L., Erickson, K. I., & Liu-Ambrose, T. (2013). A Review of the Effects of Physical Activity and Exercise on Cognitive and Brain Functions in Older Adults. *Journal of Aging Research*, 2013, 1-8. doi:10.1155/2013/657508

Blondell, S. J., Hammersley-Mather, R., & Veerman, J. L. (2014). Does physical activity prevent cognitive decline and dementia?: A systematic review and meta-analysis of longitudinal studies. BMC Public Health, 14(1), 1-12. doi:10.1186/1471-2458-14-510

Blumenthal, J. A., Emery, C. F., Madden, D. J., Schniebolk, S., Walsh-Riddle, M., George, L. K.,. & Coleman, R. E. (1991). Long-term effects of exercise on psychological functioning in older men and women. Journal of gerontology, 46(6), P352-P361.

Boucard, G. K., Albinet, C. T., Bugaiska, A., Bouquet, C. A., Clarys, D., Audiffren, M., & others. (2012). Impact of physical activity on executive functions in aging: a selective effect on inhibition among old adults. Journal of Sport and Exercise Psychology, 34(6), 808. doi:10.1123/jsep.34.6.808

Bunce, D., & Murden, F. (2006). Age, aerobic fitness, executive function, and episodic memory. European Journal of Cognitive Psychology, 18(2), 221–233. doi:10.1080/09541440540000185

- Canivez, G. L., Konold, T. R., Collins, J. M., & Wilson, G. (2009). Construct validity of the Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence and Wide Range Intelligence Test: Convergent and structural validity. School Psychology Quarterly, 24(4), 252. doi:10.1037/a0018030
- Carlson, M. C., Helms, M. J., Steffens, D. C., Burke, J. R., Potter, G. G., & Plassman, B. L. (2008). Midlife activity predicts risk of dementia in older male twin pairs. Alzheimer's & Dementia, 4(5), 324-331. doi:10.1016/j.jalz.2008.07.002
- Caspersen, C. J., Pereira, M. A., Curran, K. M., & others. (2000). Changes in physical activity patterns in the United States, by sex and cross-sectional age. Medicine and science in sports and exercise, 32(9), 1601–1609. doi:10.1097/00005768-200009000-00013
- Cassilhas, R. C., Viana, V. A. R., Grassmann, V., Santos, R. T., Santos, R. F., Tufik, S., & Mello, M. T. (2007). The Impact of Resistance Exercise on the Cognitive Function of the Elderly: *Medicine* & Science in Sports & Exercise, 39(8), 1401-1407. doi:10.1249/mss.0b013e318060111f
- Chasan-Taber, L., Erickson, J. B., McBride, J. W., Nasca, P. C., Chasan-Taber, S., & Freedson, P. S. (2002). Reproducibility of a self-administered lifetime physical activity questionnaire among female college alumnae. American Journal of Epidemiology, 155(3), doi:10.1093/aje/155.3.282
- Colcombe, S., & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: A Meta-Analytic study. Psychological Science, 14(2), 125-130. doi:10.1111/1467-9280.t01-1-01430
- Corrigan, J. D., & Hinkeldey, N. S. (1987). Relationships between parts A and B of the Trail Making Test. Journal of Clinical Psychology, 43(4), 402-409.
- Cumming, R. G., & Klineberg, R. J. (1994). A study of the reproducibility of long-term recall in the elderly. *Epidemiology*, 5(1), 116-119.
- Daigneault, S., Braun, C. M., & Whitaker, H. A. (1992). Early effects of normal aging on perseverative and non-perseverative prefrontal measures. Developmental Neuropsycho., 8(1), 99–114.
- Deary, I. J., Whalley, L. J., Batty, G. D., & Starr, J. M. (2006). Physical fitness and lifetime cognitive change. Neurology, 67(7), 1195-1200. doi:10.1212/01.wnl.0000238520.06958.6a
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. Annual review of psychology, 64, 135-168. doi:10.1146/annurev-psych-113011-143750
- Dik, M. G., Deeg, D. J. H., Visser, M., & Jonker, C. (2003). Early Life Physical Activity and Cognition at Old Age. Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology (Neuropsychology, Development and Cognition: Section A), 25(5), 643-653. doi:10.1076/jcen.25.5.643.14583
- Dugbartey, A. T., Sanchez, P. N., Rosenbaum, J. G., Mahurin, R. K., Davis, J. M., & Townes, B. D. (1999). WAIS-III Matrix Reasoning Test Performance in a Mixed Clinical Sample. The Clinical Neuropsychologist, 13(4), 396-404. doi:10.1076/1385-4046(199911)13:04;1-Y;FT396
- Dupuy, O., Gauthier, C. J., Fraser, S. A., Desjardins-Crapeau, L., Desjardins, M., Mekary, S., ... Bherer, L. (2015). Higher levels of cardiovascular fitness are associated with better executive function and prefrontal oxygenation in younger and older women. Frontiers in Human Neuroscience, 9. doi:10.3389/fnhum.2015.00066
- Emery, C. F., & Gatz, M. (1990). Psychological and cognitive effects of an exercise program for community-residing older adults. The Gerontologist, 30(2), 184-188.
- Erickson, K. I., Colcombe, S. J., Elavsky, S., McAuley, E., Korol, D. L., Scalf, P. E., & Kramer, A. F. (2007). Interactive effects of fitness and hormone treatment on brain health in postmenopausal women. Neurobiology of aging, 28(2), 179-185. doi:10.1016/j.neurobiologing.2005.11.016
- Erickson, K. I., Gildengers, A. G., & Butters, M. A. (2013). Physical activity and brain plasticity in late adulthood. Dialogues in Clinical Neuroscience, 15(1), 99–108.
- Etaugh, C. (1983). The influence of environmental factors on sex differences in children's play. Social and cognitive skills: Sex roles and children's play. New York: Academic Press.
- Etnier, J. L., & Chang, Y. K. (2009). The effect of physical activity on executive function: a brief commentary on definitions, measurement issues, and the current state of the literature. Journal of Sport & Exercise Psychology, 31(4), 469. doi:10.1123/jsep.31.4.469

- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state": a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. Journal of psychiatric research, 12(3), 189-198.
- Gow, A. J., Pattie, A., & Deary, I. J. (2017). Lifecourse Activity Participation From Early, Mid, and Later Adulthood as Determinants of Cognitive Aging: The Lothian Birth Cohort 1921. The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 72(1), 25-37. doi:10.1093/geronb/gbw124
- Gearin, B. M., & Fien, H. (2016). Translating the neuroscience of physical activity to education. Trends in Neuroscience and Education, 5(1), 12-19. doi:10.1016/j.tine.2016.02.001
- Guiney, H., & Machado, L. (2013). Benefits of regular aerobic exercise for executive functioning in healthy populations. Psychonomic Bulletin & Review, 20(1), 73-86. doi:10.3758/s13423-012-0345-4 Habacha, H., Molinaro, C., & Dosseville, F. (2014). Effects of Gender, Imagery Ability, and Sports Practice on the Performance of a Mental Rotation Task. The American journal of psychology, 127(3), 313-323. doi:10.5406/amerjpsyc.127.3.0313
- Havari, E., & Mazzonna, F. (2015). Can we trust older people's statements on their childhood circumstances? Evidence from SHARELIFE. European Journal of Population, 31(3), 233-257. doi:10.1007/s10680-014-9332-y
- Hébert, R., Bravo, G., & Girouard, D. (1992). Validation de l'adaptation française du modified mini-mental state (3MS). La Revue de gériatrie, 17(8), 443-450.
- Hertzog, C., Kramer, A. F., Wilson, R. S., & Lindenberger, U. (2009). Enrichment effects on adult cognitive development can the functional capacity of older adults be preserved and enhanced? Psychological science in the public interest, 9(1), 1–65. doi:10.1111/j.1539-6053.2009.01034.x
- Hill, R. D., Storandt, M., & Malley, M. (1993). The impact of long-term exercise training on psychological function in older adults. *Journal of Gerontology*, 48(1), 12-17.
- Hillman, C. H., Motl, R. W., Pontifex, M. B., Posthuma, D., Stubbe, J. H., Boomsma, D. I., & de Geus, E. J. C. (2006). Physical activity and cognitive function in a cross-section of younger and older community-dwelling individuals. Health Psychology, 25(6), 678-687. doi:10.1037/0278-6133.25.6.678
- Hötting, K., & Röder, B. (2013). Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and Neuroscience Biobehavioral Reviews, 37(9), 2243-2257. cognition. & doi:10.1016/j.neubiorev.2013.04.005
- Hoyer, W. J., Stawski, R. S., Wasylyshyn, C., & Verhaeghen, P. (2004). Adult age and digit symbol substitution performance: a meta-analysis. Psychology and Aging, 19(1), 211-214. doi:10.1037/0882-7974.19.1.211
- Iuliano, E., di Cagno, A., Aquino, G., Fiorilli, G., Mignogna, P., Calcagno, G., & Di Costanzo, A. (2015). Effects of different types of physical activity on the cognitive functions and attention in older people: A randomized controlled study. Experimental Gerontology, doi:10.1016/j.exger.2015.07.008
- Jäger, K., Schmidt, M., Conzelmann, A., & Roebers, C. M. (2015). The effects of qualitatively different acute physical activity interventions in real-world settings on executive functions in preadolescent children. Mental Health and Physical Activity, 9, 1-9. doi:10.1016/j.mhpa.2015.05.002
- Kalafat, M., Hugonot-Diener, L., & Poitrenaud, J. (2003). Standardisation et étalonnage français du « Mini Mental State »(MMS) version GRsECO. Revue de neuropsychologie, 13(2), 209-236.
- Kåreholt, I., Lennartsson, C., Gatz, M., & Parker, M. G. (2011). Baseline leisure time activity and cognition more than two decades later. International Journal of Geriatric Psychiatry, 26(1), 65-74. doi:10.1002/gps.2490
- Kelly, M. E., Loughrey, D., Lawlor, B. A., Robertson, I. H., Walsh, C., & Brennan, S. (2014). The impact of exercise on the cognitive functioning of healthy older adults: A systematic review and meta-analysis. Ageing Research Reviews, 16, 12-31. doi:10.1016/j.arr.2014.05.002

- Kesse-Guyot, E., Andreeva, V. A., Lassale, C., Hercberg, S., & Galan, P. (2014). Clustering of Midlife Lifestyle Behaviors and Subsequent Cognitive Function: A Longitudinal Study. American journal of public health, 104(11), 170–177. doi:10.2105/AJPH.2014.302121
- Kortte, K. B., Horner, M. D., & Windham, W. K. (2002). The trail making test, part B: cognitive ability to maintain set? Applied Neuropsychology, flexibility or 9(2), doi:10.1207/S15324826AN0902_5
- Kramer, A. F., Erickson, K. I., & Colcombe, S. J. (2006). Exercise, cognition, and the aging brain. Journal of applied physiology, 101(4), 1237–1242. doi:10.1152/japplphysiol.00500.2006
- Kriska, A. M., Knowler, W. C., LaPorte, R. E., Drash, A. L., Wing, R. R., Blair, S. N., ... & Kuller, L. H. (1990). Development of questionnaire to examine relationship of physical activity and diabetes in Pima Indians. Diabetes care, 13(4), 401-411.
- Kriska, A.M., Sandler, R.B., Cauley, J.A., LaPorte, R.E., Horn, D.L., & Pambianco, G. (1988). The assessment of historical physical activity and its relation to adult bone parameters. American *Journal of Epidemiology*, (127), 1053-1063.
- Larson, E. B., Wang, L., Bowen, J., McCormick, W., Teri, L., Crane, P., & Kukull, W. (2006). Exercise is associated with reduced risk for incident dementia among persons 65 years of age and older. Annals of internal medicine, 144(2), 73-81. doi:10.7326/0003-4819-144-2-200601170-00004
- Laurin, D., Verreault, R., Lindsay, J., MacPherson, K., & Rockwood, K. (2001). Physical activity and risk of cognitive impairment and dementia in elderly persons. Archives of Neurology, 58. doi:10.1001/archneur.58.3.498
- Li, S. C., Lindenberger, U., Hommel, B., Aschersleben, G., Prinz, W., & Baltes, P. B. (2004). Transformations in the couplings among intellectual abilities and constituent cognitive processes across the span. Psychological Science, 15(3), 155-163. doi:10.1111/j.0956life 7976.2004.01503003.x
- Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (1997). Intellectual functioning in old and very old age: crosssectional results from the Berlin Aging Study. *Psychology and aging*, 12(3), 410.
- Liu-Ambrose, T., Nagamatsu, L. S., Graf, P., Beattie, B. L., Ashe, M. C., & Handy, T. C. (2010). Resistance training and executive functions: a 12-month randomized controlled trial. Archives of Internal Medicine, 170(2), 170-178. doi:10.1001/archinternmed.2009.494
- Madden, D. J., Blumenthal, J. A., Allen, P. A., & Emery, C. F. (1989). Improving aerobic capacity in healthy older adults does not necessarily lead to improved cognitive performance. Psychology and Aging, 4(3), 307-320.
- Middleton, L. E., Barnes, D. E., Lui, L.-Y., & Yaffe, K. (2010). Physical Activity over the Life Course and Its Association with Cognitive Performance and Impairment in Old Age: Life course physical activity and cognition. Journal of the American Geriatrics Society, 58(7), 1322-1326. doi:10.1111/j.1532-5415.2010.02903.x
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex « Frontal Lobe Tasks: Α Latent Variable Analysis. Cognitive Psychology, 41(1), doi:10.1006/cogp.1999.0734
- Moering, R. G., Schinka, J. A., Mortimer, J. A., & Graves, A. B. (2004). Normative data for elderly African Americans for the Stroop color and word test. Archives of Clinical Neuropsychology, 19(1), 61–71. doi:10.1093/arclin/19.1.61
- Nagamatsu, L. S., Flicker, L., Kramer, A. F., Voss, M. W., Erickson, K. I., Hsu, C. L., & Liu-Ambrose, T. (2014). Exercise is medicine, for the body and the brain. British Journal of Sports Medicine, 48(12), 943-944. doi:10.1136/bjsports-2013-093224
- Nagamatsu, Lindsay S., Chan, A., Davis, J. C., Beattie, B. L., Graf, P., Voss, M. W., ... Liu-Ambrose, T. (2013). Physical Activity Improves Verbal and Spatial Memory in Older Adults with Probable Mild Cognitive Impairment: A 6-Month Randomized Controlled Trial. Journal of Aging Research, 2013, e861893. doi:10.1155/2013/861893

Naqvi, R., Liberman, D., Rosenberg, J., Alston, J., & Straus, S. (2013). Preventing cognitive decline in healthy older adults. Canadian Medical Association Journal, 185(10), 881-885. doi:10.1503/cmaj.121448

Pachana, N. A., Thompson, L. W., Marcopulos, B. A., & Yoash-Gantz, R. (2004). California Older Adult Stroop test (COAST) development of a stroop test adapted for geriatric populations. Clinical gerontologist, 27(3), 3–22. doi:10.1300/j018v27n03_02

Poitrenaud, J., & Moreaux, C. (1976). Rapports entre performances intellectuelles et maintien d'une activité professionnelle à un âge avancé. Population (french edition), 607-616.

Prakash, R. S., Voss, M. W., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2015). Physical Activity and Cognitive Vitality. Annual Review of Psychology, 66(1), 769-797. doi:10.1146/annurev-psych-010814-015249

Renaud, M., Bherer, L., & Maquestiaux, F. (2010). A high level of physical fitness is associated with more efficient response preparation in older adults. The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 65(3), 317–322. doi:10.1093/geronb/gbq004

Ridley, J. (1992). Studies of interference in serial verbal reactions. Journal of Experimental Psychology: General, 121(1), 15-23. doi:10.1037/0096-3445.121.1.15

Rouillard, M., Audiffren, M., Albinet, C., Ali Bahri, M., Garraux, G., & Collette, F. (2016). Contribution of four lifelong factors of cognitive reserve on late cognition in normal aging and Parkinson's disease. Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 39(2), 142-162. doi:10.1080/13803395.2016.1207755

Rovio, S., Kareholt, I., Helkala, E., Viitanen, M., Winblad, B., Tuomilehto, J., Kivipelto, M. (2005). Leisure-time physical activity at midlife and the risk of dementia and Alzheimer's disease. Lancet Neurol, 4. doi:10.1016/S1474-4422(05)70198-8

Rovio, S., Spulber, G., Nieminen, L. J., Niskanen, E., Winblad, B., Tuomilehto, J., & Kivipelto, M. (2010). The effect of midlife physical activity on structural brain changes in the elderly. Neurobiology of aging, 31(11), 1927-1936. doi:10.1016/j.neurobiologing.2008.10.007

Salthouse, T. A. (1992). What do adult age differences in the Digit Symbol Substitution Test reflect? Journal of Gerontology, 47(3), P121-128.

Salthouse, T. A. (1993). Influence of working memory on adult age differences in matrix reasoning. British Journal of Psychology (London, England: 1953), 84 (2), 171-199.

Salthouse, T. A. (2000). Aging and measures of processing speed. Biological psychology, 54(1), 35-54. doi:10.1016/s0301-0511(00)00052-1

Salthouse, T. A. (2009). When does age-related cognitive decline begin? *Neurobiology of aging*, 30(4), 507–514. doi:10.1016/j.neurobiolaging.2008.09.023

Salthouse, T. A., Atkinson, T. M., & Berish, D. E. (2003). Executive functioning as a potential mediator of age-related cognitive decline in normal adults. Journal of Experimental Psychology. General, 132(4), 566-594. doi:10.1037/0096-3445.132.4.566

Simons, L. A., Simons, J., McCallum, J., & Friedlander, Y. (2006). Lifestyle factors and risk of dementia: Dubbo Study of the elderly. Medical Journal of Australia, 184(2), 68.

Ska, B., & Joanette, Y. (2006). Vieillissement normal et cognition. médecine/sciences, 22(3), 284-287. doi:10.1051/medsci/2006223284

Strasser, B., & Fuchs, D. (2015). Role of physical activity and diet on mood, behavior, and cognition. Neurology, **Psychiatry** and Brain Research, 21(3), 118-126. doi:10.1016/j.npbr.2015.07.002

Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. Journal of Experimental Psychology, 18(643-662).

Sumic, A., Michael, Y. L., Carlson, N. E., Howieson, D. B., & Kaye, J. A. (2007). Physical activity and the risk of dementia in oldest old. Journal of aging and health, 19. doi:10.1177/0898264307299299

Tabachnick, B. G., Fidell, L. S., & Osterlind, S. J. (2001). Using multivariate statistics.

Taylor-Piliae, R. E., Newell, K. A., Cherin, R., Lee, M. J., King, A. C., & Haskell, W. L. (2010). Effects of Tai Chi and Western exercise on physical and cognitive functioning in healthy communitydwelling older adults. Journal of aging and physical activity, 18(3), 261. doi:10.1123/japa.18.3.261

Thibeau, S., McFall, G. P., Wiebe, S. A., Anstey, K. J., & Dixon, R. A. (2016). Genetic factors moderate everyday physical activity effects on executive functions in aging: Evidence from the Victoria Longitudinal Study. Neuropsychology, 30(1), 6-17. doi:10.1037/neu0000217

Van Boxtel, M. P. J., Ten Tusscher, M. P. M., Metsemakers, J. F. M., Willems, B., & Jolles, J. (2001). Visual determinants of reduced performance on the Stroop color-word test in normal aging individuals. Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 23(5), 620-627. doi:10.1076/jcen.23.5.620.1245

Van Gelder, B. M., Tijhuis, M. A. R., Kalmijn, S., Giampaoli, S., Nissinen, A., & Kromhout, D. (2004). Physical activity in relation to cognitive decline in elderly men The FINE Study. *Neurology*, 63(12), 2316-2321. doi:10.1212/01.WNL.0000147474.29994.35

Verghese, J., Lipton, R. B., Katz, M. J., Hall, C. B., Derby, C. A., Kuslansky, G., ... Buschke, H. (2003). Leisure activities and the risk of dementia in the elderly. New England Journal of Medicine, 348. doi:10.1056/NEJMoa022252

Voss, M. W., Prakash, R. S., Erickson, K. I., Basak, C., Chaddock, L., Kim, J. S., ... Kramer, A. F. (2010). Plasticity of brain networks in a randomized intervention trial of exercise training in older adults. Frontiers in Aging Neuroscience, 2, 32. doi:10.3389/fnagi.2010.00032

Vuillemin, A., Oppert, J.-M., Guillemin, F., Essermeant, L., Fontvieille, A.-M., Galan, P., ... Hercberg, S. (2000). Self-administered questionnaire compared with interview to assess past-year physical activity. Medicine and Science in Sports and Exercise, 32(6), 1119-1124. doi:10.1097/00005768-200006000-00013

Wechsler, D. (1997). WAIS-III, Wechsler adult intelligence scale: Administration and scoring manual.

Wechsler, D. (1999). Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence (WASI). (San Antonio, TX: Harcourt Assessment.).

Weuve, J., Kang, J. H., Manson, J. E., Breteler, M. M., Ware, J. H., & Grodstein, F. (2004). Physical activity, including walking, and cognitive function in older women. Jama, 292(12), 1454-1461. doi:10.1001/jama.292.12.1454

Wilson, R. S., Scherr, P. A., Schneider, J. A., Tang, Y., & Bennett, D. A. (2007). Relation of cognitive activity to risk of developing Alzheimer disease. Neurology, 69(20), 1911–1920. doi:10.1212/01.wnl.0000271087.67782.cb

Yaffe, K., Barnes, D., Nevitt, M., Lui, L. Y., & Covinsky, K. (2001). A prospective study of physical activity and cognitive decline in elderly women: women who walk. Archives of internal medicine, 161(14), 1703-1708. doi:10.1001/archinte.161.14.1703

Young, J., Angevaren, M., Rusted, J., & Tabet, N. (2015). Aerobic exercise to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. The Cochrane Library. doi:10.1002/14651858.CD005381.pub4.

Un Serious Game Comme Nouvel Outil de Rééducation du Syndrome Dysexécutif

Julie Golliot^{1, 2}, Alexandre Abellard¹, Michel Durampart¹, Cathy Herrera², Elodie Fontugne² et Dr Michèle Timsit²

Laboratoire i3M Toulon

² Clinique Provence Bourbonne.

julie.golliot@ensc.fr, alexandre.abellard@univ-tln.fr

Résumé

Les troubles des fonctions exécutives sont des troubles cognitifs nuisant à l'autonomie des patients. Les méthodes d'évaluation et de rééducation actuelles sont anciennes et le papier/crayon est limitant. La réalité virtuelle commence à être exploitée et s'avère intéressante. Dans ce prolongement, nous travaillons sur un serious game persuasif permettant d'espérer un transfert des acquis dans la vie réelle.

1 Introduction

Les troubles des fonctions exécutives, ou de contrôle, se caractérisent par la difficulté à faire appel aux fonctions élaborées impliquées dans le contrôle cognitif intervenant dans les situations qui nécessitent une articulation des actions ou pensées dirigées vers un but finalisé (Godefroy, 2004). Ces processus cognitifs de contrôle sont sollicités lorsqu'il faut se concentrer sur une tâche, mémoriser et manipuler des informations, s'adapter à de nouveaux environnements ou règles et plus généralement quand les habitudes et automatismes ne suffisent pas à atteindre ces buts (Diamond, 2013; Godefroy, 2008). Ces fonctions sont également liées à certains processus attentionnels comme la sélectivité et la division de l'attention. La présence de ces troubles compromet sévèrement l'autonomie (Bottger, 1998). Si la structure principalement impliquée est le lobe frontal, l'aspect fonctionnel est préféré puisque des déficits sont également observés dans des pathologies non frontales et notamment à prédominance sous-corticale (Albert, 1974). Le domaine thérapeutique est encore très peu développé. Nous nous proposons dans cet article de donner quelques informations sur le syndrome dysexécutif et sur les difficultés de la rééducation actuelle en présentant les questions se posant sur ce plan. Nous ouvrirons ensuite sur les potentiels que les nouvelles technologies peuvent apporter pour de nouvelles formes de rééducation relevant de ce syndrome.

Les fonctions exécutives

Le syndrome dysexécutif touche 40 à 60% des victimes d'AVC et on le rencontre également dans le syndrome de Tourette, les troubles du spectre de l'autisme, le trouble de l'alcoolisme fœtal, les troubles du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA -TDAH), la maladie de Parkinson, la schizophrénie, les lésés cérébro-traumatiques et enfin dans quelques maladies génétiques rares (Godefroy, 2004).

Un fractionnement des fonctions exécutives en composantes principales a été proposé avec la différenciation de l'inhibition, de la mise à jour en mémoire de travail (MDT) et de la flexibilité cognitive (Miyake, 2000). L'inhibition permet un contrôle volontaire de réponses, comportements ou distracteurs lorsqu'ils ne sont pas pertinents ou qu'ils interfèrent avec les actions à accomplir. Cela permet un comportement social adapté à l'environnement. On parle d'impulsivité lorsque cela touche au comportement. La mise à jour (« monitoring ») des représentations en mémoire de travail permet d'être capable d'encoder des informations pertinentes et d'effectuer une manipulation mentale (Baddeley, 2012). Enfin, la flexibilité (« shifting ») consiste à être en capacité d'adapter son plan d'action en fonction des exigences de l'environnement, de basculer d'une tâche ou d'un comportement à l'autre ou encore entre plusieurs tâches ou représentations mentales. Cela est nécessaire dès qu'une situation n'est pas routinière et demande une réponse non automatique et une adaptation de la personne. Dans le cas contraire, on parle de persévération.

Trois processus secondaires sont également impactés. La planification permet l'agencement temporel et en termes de priorité des différentes étapes nécessaires à la mise en place de la stratégie pour atteindre un but et demande ainsi la maitrise de la notion du temps pour pouvoir s'y projeter et anticiper. La stratégie consiste à effectuer le choix du ou des moyens les plus appropriés pour parvenir à un but donné. Enfin le maintien de l'attention permet de maintenir en activation le plan d'action jusqu'à sa réalisation complète.

Plusieurs processus attentionnels sont impliqués: l'attention sélective, l'attention soutenue et l'attention divisée (Godefroy, 2004). L'attention est associée à un traitement préférentiel des informations sensorielles, des interactions existant entre ses différentes modalités. Le cerveau ne peut en effet pas traiter simultanément toutes les informations qui lui parviennent et la focalisation des ressources cognitives sur une tâche particulière se fait au détriment des autres informations sensorielles tout en permettant l'accroissement des performances: l'attention renforce les capacités de détection d'un stimulus et augmente la rapidité des réactions.

3 Evaluation et rééducation des fonctions exécutives

Les patients rencontrent fréquemment des difficultés sévères dans la vie quotidienne. Ces difficultés sont incomplètement évaluées par des tests neuropsychologiques classiques (Poncet, 2009) mais rendent parfois les patients incapables d'être autonomes, les empêchent de reprendre une vie professionnelle et les contraignent à vivre chez un proche ou dans un foyer adapté. Il faut donc évaluer et quantifier les troubles des fonctions exécutives mais également leurs répercussions sur les activités de la vie quotidienne (AVQ). Nous pouvons citer quelques tests neuropsychologiques classiques:

La copie de la figure de Rey (Bennett-Levy, 1984) et les tests de la tour de Londres (Shallice, 1991) pour la planification;

- Les résolutions de problèmes, les séquences graphiques et les séries gestuelles de Luria (Luria, 2012);
- Le Trail Making Test de Reitan (Reitan, 1958) pour la flexibilité;
- Le test de Stroop (Peter et al., 1962) pour l'inhibition;
- Le Wisconsin Card Sorting Test (Nelson, 1976), plus global pour l'élaboration de concept, de maintien du plan, la flexibilité et l'inhibition (Le Thiec, 1999).

Une limite importante provient du problème de transfert dans les AVQ des performances obtenues lors des tests classiques, ce qui pose la question de la validité écologique des tests conventionnels (Rode 2005). Ces tests laissent en effet peu de choix aux patients qui sont souvent confrontés à une seule tâche, fortement initiée par le soignant. La situation, artificielle, ne permet pas de reproduire la complexité des AVQ et donc de mettre pleinement en jeu les fonctions exécutives pour élaborer des stratégies et avoir un comportement adapté (Shallice, 1991). Des efforts sont ainsi réalisés depuis plusieurs années pour proposer aux patients des mises en situation écologiques, leur permettant d'avantage de libertés et de prises de décisions. Ils doivent gérer l'activité de manière autonome sous l'encadrement du soignant. Ces épreuves sont pensées pour être proches des AVQ. Nous pouvons citer le test des six éléments (papier-crayon) où le patient a 15 minutes pour s'organiser pour effectuer six tâches simples et obtenir un maximum de points tout en respectant un certain nombre de règles (Shallice, 1991), ou encore le test des commissions (papier crayon) de Martin demandant de s'organiser pour planifier un parcours et de déterminer des priorités en termes de temps et d'actions. D'autres tests sont effectués en grandeur nature avec notamment le test des errances multiples de Shallice et Burgess qui met réellement le patient en situation sur un parcours inconnu en temps imparti (Chevignard, 2006). L'anosognosie (méconnaissance voire ignorance du trouble par le patient) reste toutefois un obstacle majeur, limitant l'implication, le transfert et l'utilisation d'aides externes (comme l'agenda) et de stratégies de compensation.

Les mises en situation réelles sont de plus en plus difficiles à mettre en œuvre aujourd'hui en raison de la législation (sécurité du patient lorsqu'il se déplace dans une ville ou un supermarché). De plus, les soignants restent demandeurs de solutions permettant d'éviter les tests sur papiers jugés longs et stressants par les patients. Ils éprouvent également des difficultés à standardiser les situations et à objectiver les mesures, qu'elles touchent des aspects cognitifs (rétablissement des capacités antérieures), psychologiques (surmonter ses appréhensions) ou physiques (Cao, 2010).

Face à l'essor du numérique, de récentes études ont été menées afin de tendre vers une rééducation plus écologique et efficace pour les patients.

4 Recours à la réalité virtuelle

De nombreux faits et contraintes plaident pour l'utilisation des technologies numériques dans les processus de rééducation intervenant dans le traitement du syndrome dysexécutif. La réalité virtuelle apparait comme un moyen de proposer de façon contrôlée et répétée des entrainements dans des tâches qualifiées, un enregistrement des performances de manière quantificative ainsi que de son suivi. Des évaluations cognitives ont été proposées par ce biais pour la planification (Klinger et al., 2006), la mémoire (Rose, 2005), et les capacités visuo-spatiales. Dans le cadre des fonctions exécutives, deux supermarchés (Klinger, 2006; Carelli, 2008) et trois cuisines (travaux de Davies, 1999, Zang, 2001 et Baguena, 2006) ont été mis au point pour l'entrainement aux tâches familières avant le retour à domicile (Cao, 2010). Une attention a été portée au réalisme des environnements virtuels, qui influence fortement la performance du patient.

Les AVQ supermarché ont été effectuées avec un ordinateur ou un visiocasque. L'attention a été évaluée au fur et à mesure de la complexification de l'exercice, de même que la mémoire prospective et épisodique et l'inhibition dans le scan visuel (recherche et sélection d'items). Les AVQ cuisine ont été testées avec des ordinateurs, un ordinateur tactile et un visiocasque et laissaient présager d'un transfert en vie quotidienne par la suite.

Dans tous ces cas, il faut souligner l'importance de la facilité de prise en main de l'environnement, le travail sur l'avatar dans lequel le patient doit se projeter pour faciliter la psychologie sociale, le réalisme visuel voire comportemental. L'imitation peut ainsi servir pour la rééducation en facilitant l'affiliation, la communication et la synchronie interactionnelle (Klinger, 2009).

Des systèmes sont aujourd'hui développés pour la rééducation motrice (par NaturalPad et Genious Healthcare notamment) mais rien de spécifique n'a été fait pour la rééducation cognitive.

5 Vers une nouvelle possibilité de rééducation centrée sur l'autodétermination

L'essor des nouvelles technologies ouvre un nouveau champ de possibles. Dans un processus de rééducation long et ardu, il est difficile pour les patients de conserver leur implication et leur motivation alors qu'elles sont essentielles à leur réussite. Considérée en psychologie comme un centre de régulation biologique, cognitive et sociale, la motivation est la source de l'énergie, de la persévérance éprouvée par les individus dans leurs actions et leurs intentions. La théorie de l'autodétermination (Ryan, 2002) propose l'existence de différents types de motivations autodéterminées avec des répercussions importantes sur le développement de la personne avec un effet du contexte. Trois besoins psychologiques fondamentaux sont à l'origine de la motivation:

- Le besoin de compétence, c'est-à-dire le sentiment d'efficacité perçu par l'individu sur son environnement, de capacité à effectuer des tâches de diverses difficultés et de contrôle des éléments conduisant au succès;
- Le besoin d'appartenance sociale: être connecté aux autres, soutenu, partager un sentiment d'unité (Baumeister, 1995);
- Le besoin d'autonomie: sentiment d'être à l'origine du choix de ses actions et de ses comportements, à les réguler soi-même et non être contrôlé par une force ou pression interne ou externe. Ce dernier aspect est le plus impactant.

Selon la théorie de l'intégration orgasmique, les individus sont naturellement enclins à intégrer des expériences qui leur permettent l'expression de leurs besoins psychologiques fondamentaux. Une activité intrinsèquement motivée (régulée de manière autodéterminée) est pratiquée pour le seul plaisir du sujet, sans recherche d'intérêt ou de récompense. Une activité extrinsèquement motivée est effectuée pour des raisons externes, la motivation étant plus ou moins autodéterminée (de la recherche d'un but en cas de régulation intégrée à la contrainte externe pour la motivation par régulation externe). Lorsque l'individu satisfait son besoin d'autonomie, il augmente la propension d'un apprentissage durable, de performances accrues, sa persistance et sa créativité (Deci et Ryan, 1985).

Actuellement, les jeux numériques utilisés ne couvrent pas tous les troubles dysexécutifs et ne proposent pas de scénarios élaborés. Ils sont simples et répétitifs, proposant essentiellement aux patients de s'exercer sur une tâche basique non écologique et ne sont as conçus spécifiquement pour ce public. Nous retrouvons ici tous les jeux développés pour l'entrainement cérébral.

Un nouvel outil de travail soutenant l'autonomie du patient est donc à envisager. En collaboration avec une équipe médicale spécialisée, nous spécifions ainsi un Serious Game (SG) persuasif. Possédant les mêmes règles que le jeu vidéo, un SG est interactif, basé sur des règles et des contraintes, dirigé vers un objectif clair impliquant la résolution de problèmes ludiques et avec des feedbacks permettant au joueur de suivre ses progrès jusqu'à l'objectif (Alvarez, 2012). Un SG persuasif incite de plus les joueurs à résoudre ces problèmes ludiques dans le but de provoquer des changements comportementaux, socio-cognitifs et socio-affectifs (Courbet, 2015). L'outil devra proposer un challenge motivant, de difficulté croissante. La répétition imposée par l'apprentissage opérant, rendue ludique, peut provoquer moins de lassitude et d'ennui (Lee, 2009) et augmenter l'auto-efficacité et la compétence d'autogestion. En proposant au patient de s'identifier à un avatar, il sera «incarné» et plus facilement investi (Annett, 2010). Cela lui permettra d'appréhender plusieurs rôles sociaux, de développer son empathie et d'apprendre à comprendre les points de vue et sentiments de l'autre puisqu'il aura au cours de missions qui lui seront proposées à interagir avec d'autres personnages dont les caractéristiques seront déterminées en fonction du profil du patient. L'apprentissage social serait donc facilité. Si le SG est équilibré pour le joueur (équilibre entre les challenges, la capacité à jouer et les connaissances du joueur) il y aurait alors immersion, satisfaction (Kato, 2010) et motivation intrinsèque qui entrainerait la joie, l'intérêt, la performance, la qualité d'apprentissage et l'estime de soi avec comme résultat un haut niveau de performances et des états de conscience inattendus (Csikszentmihalyi, 2002). Nous souhaitons également développer de manière très importante la narration pour «transporter» le récepteur et le rendre plus sensible aux influences du message thérapeutique contenu dans le récit. Enfin, si nous parvenons à développer un SG divertissant, permettant l'immersion, l'interactivité et «transportant» le joueur, il pourrait permettre d'atteindre le flow ou «expérience optimale». Cette expérience autotélique du jeu absorbe le joueur qui est ainsi impliqué, performant et entièrement concentré sur le SG, oubliant l'environnement qui l'entoure tout en conservant le contrôle de ses actions. Ses ressources cognitives allouées au SG et sa motivation augmentent ainsi facilitant la modification des connaissances (Courbet, 2015). Tout du long de la rééducation par le SG, un accompagnement approprié du patient par le soignant sera primordial pour espérer un transfert des compétences acquises dans la vie réelle (Alvarez, 2012). Cette démarche inédite présente donc un important challenge pluridisciplinaire.

6 Conclusion

Un Serious Game persuasif comprenant une importante dimension narrative est donc inédit dans le domaine de la rééducation cognitive et plus fortement pour le syndrome dysexécutif. Un tel jeu devra répondre à trois impératifs : L'adaptation de la tâche aux capacités des joueurs, des objectifs précis à atteindre et un feedback clair et adapté et enfin proposer une identité numérique au joueur afin de favoriser son immersion. L'augmentation de la complexité permettra de monter en compétences et d'éviter l'ennui et la frustration. Le flow favorisera ainsi l'apprentissage opérant et le modelage. Il n'est bien sûr aucunement question de remplacer le soignant qui garde un rôle primordial dans l'accompagnement du patient au cours du jeu et est garant du transfert des acquis dans la vie réelle grâce au suivi et aux débriefings appropriés. Le SG que nous développons immergera ainsi le patient dans un monde virtuel par le biais d'une aventure lui proposant de nombreuses missions tout au cours de sa progression. Il répondra à trois objectifs de santé: la prise de conscience des troubles par le patient (levée de l'anosognosie), la rééducation active de ses troubles dysexécutifs et enfin le transfert des stratégies acquises par ce biais en vie réelle. Ce nouvel outil de rééducation pourra être proposé aux centres de rééducation cognitive, servir de support à plusieurs études médicales voire être adapté à un public mineur souffrant par exemple de troubles de l'attention.

Références

Albert, M.L., Feldman, R.G., Willis A.L.. (1974). The 'subcortical dementia' of progressive supranuclear palsy. Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry, 37 (2): 121-30.

Alvarez, J., Djaouti, D. (2012). Introduction au Serious Game / Serious Game: An introduction. 2e Revue et augmentée. Questions Théoriques.

Annetta, L.A. (2010). The "I"s' Have It: A Framework for Serious Educational Game Design. Review of General Psychology, 14 (2): 105-12.

Baddeley, A. (2012). Working Memory: Theories, Models, and Controversies. Annual Review of Psychology, 63 (1): 1-29.

Baumeister, R.F., Leary, M.R. (1995). The Need to Belong: Desire for Interpersonal Attachments as a Fundamental Human Motivation. Psychological Bulletin, 117 (3): 497-529.

Bennett-Levy, J. (1984). Determinants of Performance on the Rey-Osterrieth Complex Figure Test: An Analysis, and a New Technique for Single-Case Assessment. British Journal of Clinical Psychology, 23 (2): 109-19.

Bottger, S., Prosiegel, M., Steiger H., Yassouridis, A. (1998). Neurobehavioural disturbances, rehabilitation outcome, and lesion site in patients after rupture and repair of anterior communicating artery aneurysm. Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry, 65 (1): 93-102.

Cao, X., Douguet, A.-S., Fuchs, P., Klinger E. (2010). Designing an Ecological Virtual Task in the Context of Executive Functions: A Preliminary Study. In Chile: University of Reading, School of Systems Engineering.

Cao, X. (2010). Mise en œuvre d'une tâche virtuelle, écologique et paramétrable dans le contexte des fonctions exécutives. Thèse de doctorat en Biomécanique et ingénierie pour la santé, sous la direction de P.Fuchs et E. Klinger, Paris, Ecole Natioale des Arts et Métiers.

Carelli, L., Morganti, F., Weiss P. L., Kizony, R., Riva, G. (2008). A virtual reality paradigm for the assessment and rehabilitation of executive function deficits post stroke: Feasibility study. In 2008 Virtual Rehabilitation, 99-104.

Chevignard, M., Taillefer, C., Picq C., Poncet F., Pradat-Diehl, P. (2006). Évaluation du syndrome dysexécutif en vie quotidienne. Évaluation des troubles neuropsychologiques en vie quotidienne (Pradat-Diehl P, Peskine A, eds), 47-65.

Comalli Jr, P.E., Seymour, W., Heinz, W. (1962). Interference Effects of Stroop Color-Word Test in Childhood, Adulthood, and Aging. The Journal of Genetic Psychology, 100 (1): 47-53.

Courbet, D., Fourquet-Courbet, M.P. (2015). Les serious games, dispositifs de communication persuasive: quels processus socio-cognitifs et socio-affectifs dans les usages? Quels effets sur les joueurs? Etat des recherches et nouvelles perspectives. Réseaux, 33 (194): 199-228.

Csikszentmihalyi, M.. (2002). Flow: The Psychology of Happiness: The Classic Work on How to Achieve Happiness. New Ed edition. London etc.: Rider.

Deci, E.L., Ryan, R.M. (1985). Intrinsic Motivation and Self-Determination in Human Behavior. New York: Plenum Press.

Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual review of psychology*, 64: 135-68.

Godefroy, O., GREFEX. (2004). Syndromes frontaux et dysexécutifs. Rev Neurol, sect. 160 : 10.

Godefroy, O., Jeannerod, M., Allain, P., Le Gall, D. (2008). Lobe frontal, fonctions exécutives et controle cognitif. Revue Neurologique, Les trente ans de la Société de Neuropsychologie de Langue Française, 164, Supplement 3 (mai): S119-27.

Godefroy, O., Fickl A., Roussel, M., Auribault, C., Bugnicourt, J.M., Lamy, C., Canaple, S., Petitnicolas, G. (2011). Is the Montreal Cognitive Assessment Superior to the Mini-Mental State Examination to Detect Poststroke Cognitive Impairment?, Stroke, 42 (6): 1712-16.

Kato, PM. (2010). Video Games in Health Care: Closing the Gap. Review of General Psychology, 14 (2): 113-21.

Klinger, E., Chemin, I., Lebreton, S., Marié, R.M. (2006). Virtual Action Planning in Parkinson's Disease: A Control Study. Cyberpsychology & Behavior: The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society, 9 (3): 342-47.

Klinger, E., Viaud-Delmon, I. (2009). L'humain virtuel en neurosciences cliniques. In Le traité de la Réalité Virtuelle, Volume 5 : les humains virtuels, édité par Presse des Mines et P. Fuchs, 399-418.

Le Thiec, F., Jokic, C., Enot-Joyeux, F., Durand, M., Lechevalier B., Eustache, F. (1999). Évaluation écologique des fonctions executives chez les traumatisés crâniens graves: pour une meilleure approche du handicap. Annales de Réadaptation et de Médecine Physique, 42 (1): 1-18.

Lee, K.M., Peng W., Park, N. (2009). Effects of Computer/Video Games and Beyond. In Media Effects: Advances in Theory and Research, 551–566. London and New York: Routledge.

Luria, A.R. (2012). Higher Cortical Functions in Man. New York: Springer Science & Business Media.

Miyake, A., Friedman, N.P., Emerson, M.J., Witzki, A.H., Howerter A., Wager; T.D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex "Frontal Lobe" Tasks: A Latent Variable Analysis. Cognitive Psychology, 41 (1): 49-100.

Nelson, H.E. (1976). A Modified Card Sorting Test Sensitive to Frontal Lobe Defects. Cortex, 12 (4): 313-24.

Reitan, R.M. (1958). Validity of the Trail Making Test as an Indicator of Organic Brain Damage. Perceptual and Motor Skills, 8 (3): 271-76.

Rode, G., Thomas-Antérion, C., Luauté, J., Jacquin-Courtois, S., Ciancia, S., Rossetti, Y., Boisson, D. (2005). Évaluation des incapacités et de la qualité de vie des patients présentant des troubles cognitifs. Annales de Réadaptation et de Médecine Physique, 48 (6): 376-91.

Rose, F.D, Brooks, B.M., Rizzo, A.A. (2005). Virtual Reality in Brain Damage Rehabilitation: Review. CyberPsychology & Behavior, 8 (3): 241-62.

Ryan, RM, Deci, E.L. (2002). Overview of Self-Determination Theory: An Organismic Dialectical Perspective. In Handbook of Self-Determination Research, 3-33. University Rochester Press.

Shallice, T., Burgess, P.W. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. Brain, 114 (2): 727-41.

Langues alphabétiques et logographiques: tous égaux face à la dyslexie ?

Yingying Ge^{1,2}

¹ Equipe THIM CHArt (EA 4004), Université Paris 8, Saint-Denis, France ² Université Paris Descartes, Boulogne-Billancourt, France

yingying.ge@etu.parisdescartes.fr

Résumé

À travers le développement d'une application pour dys privilégiant l'écoute auditive à la lecture oculaire dans la rédaction ou la consultation de documents écrits, il est apparu intéressant de comprendre les difficultés spécifiques des personnes dyslexiques grâce à une comparaison entre des personnes natives de langue alphabétique et celles natives de langues idéographiques. Ainsi, y a-t-il dans une population donnée plus de dyslexiques natifs du mandarin (Chine) que de dyslexiques américains, français ou italiens ? Les difficultés pour chaque langue sont-elles de même nature ou non ? Ce sont les réponses à ces questions que cette communication veut éclairer.

1 Introduction

À l'occasion du développement du logiciel ADELE-TEAM (Aide Directe à l'Écriture et à la Lecture Express - Technologie pour l'Entreprise, l'Administration et le Management) destiné aux personnes dys et fondé sur l'écoute plus que sur la vision, des questions ont été posées sur l'origine et/ou la cause des troubles dys : la dyslexie est le plus souvent rattachée à la nature phonologique des langues de type alphabétique. Y a-t-il des dyslexiques dont la langue n'est pas alphabétique comme le chinois ? S'il y a des dyslexiques chinois, alors de quelle nature (cause, source, processus) est leur dyslexie ? La dyslexie est-elle portée par la vision ou par l'audition ? À travers différents auteurs européens, américains et chinois, nous essaierons d'éclairer les multiples facettes de cette problématique.

Selon le DSM 5 (Manuel Diagnostique et Statistique des troubles mentaux, 5ème édition), les troubles « dys » sont classés dans les « troubles spécifiques des apprentissages » qui désignent une difficulté persistante à l'acquisition des compétences scolaires. Cette dernière comprend la lecture des mots isolés, la compréhension de la lecture, l'expression écrite et l'orthographe, le calcul arithmétique et le raisonnement mathématique. Selon les bases de la nomenclature du DSM 5, ces difficultés ne sont pas imputables à un trouble du développement intellectuel global. Il ne s'agit ni de trouble de

l'acuité visuelle ou auditive, ni de trouble neurologique ou moteur. Enfin, les difficultés ne peuvent pas être attribuées à des facteurs externes, tels qu'un manque d'éducation habituel, une situation socio-économique défavorisée ou un absentéisme chronique.

Apparaissant à l'âge de l'apprentissage de la lecture et de l'écriture, la dyslexie est décrite selon plusieurs approches. Le modèle à double voie (Besner, 1999 ; Coltheart, 1978 ; Coltheart, Curtis, Atkins, & Haller, 1993 ; Coltheart, Rastle, Perry, Langton, & Ziegler, 2001) considère que, pour la reconnaissance du mot, il existe deux voies en parallèle : la voie directe et la voie indirecte. La voie directe, aussi appelée voie d'adressage, permet l'accès à la représentation visuelle du mot en mémoire par l'appariement avec sa configuration orthographique. Cette dernière ne nécessitant pas de connaissance phonologique est souvent utilisée pour reconnaître les mots familiers et ainsi récupérer les informations phonologiques, lexicales et sémantiques associées. Tandis que par la voie indirecte, le lecteur transforme l'information orthographique en information phonologique à l'aide des règles graphème-phonème. Lorsqu'on rencontre un mot non familier ou nouveau, concrètement un mot qui ne serait pas encore stocké dans le lexique mental, cette voie de l'assemblage des lettres prononçables est utile et utilisée.

Comment les personnes dyslexiques se comportent ? Nous allons exposer quatre types de dyslexie en s'appuyant sur le modèle à double voie.

2 Modèle à double voie

2.1 Voie indirecte : conversion graphème-phonème

Éric Siéroff (2014) décrit la dyslexie de surface et la dyslexie sémantique pour mettre en évidence l'utilisation essentielle de la voie indirecte chez ces dyslexiques. Selon lui, la dyslexie de surface désigne une forme de dyslexie dans laquelle l'individu commet principalement des erreurs d'application des règles graphème-phonème. Les erreurs sur les formes irrégulières, exceptions phonétiques aux règles générales sont aussi présentes : il y a application des mêmes règles que les mots soient irréguliers ou non et ce sont celles des mots réguliers. L'individu dyslexique de surface arrive à prononcer les non-mots et les pseudo-mots. Il lit mieux les mots réguliers que les mots irréguliers. Aussi, McCarthy et Warrington (1986) précisent qu'il ne lit correctement que les mots irréguliers de haute fréquence. Coltheart (1981) parle de la difficulté de lecture des mots homophones chez les dyslexiques de surface, c'est-à-dire que le mot homophone peut être bien lu sans l'avoir compris en tant que tel parmi tous les mots homophones, ou qu'il peut être tout simplement mal lu. Il semble que ces dyslexiques utilisent bien la voie de conversion graphème-phonème : en effet, selon Henderson (1982), ils ne lisent jamais à une vitesse normale ou proche de cette dernière. D'une part, ils se servent de cette voie indirecte de manière laborieuse, d'autre part, on peut supposer que les lecteurs normaux n'utiliseraient pas uniquement cette voie. Chez le dyslexique sémantique (Siéroff, 2014), il semble que la voie de conversion soit mieux « conservée » : l'individu lit de manière rapide et fluide, sans comprendre ce qu'il est en train de lire. Selon la sévérité de son dysfonctionnement, l'individu regroupe des unités de tailles différentes avant la mise en œuvre des règles de conversion (graphémique, rime, syllabique, morphémique). Plus l'individu est atteint, moins il serait capable de regrouper les unités pour les convertir.

2.2 Voie directe : accès sémantique

Deux formes de dyslexies se privant de la voie de conversion ont été décrites par Siéroff. La dyslexie profonde a été décrite par Marshall & Newcombe (1966, 1973) pour la première fois. Ils ont montré la possibilité de lire sans phonologie et que les erreurs en lecture sont majoritairement de

nature sémantique, par exemple « wrong (mauvais) » lu comme « liar (menteur) », ou de nature visuelle, « life (vie) » lu étant « wife (épouse) ». Les mots à contenu figuratif sont mieux lus que les mots fonctionnels ou conceptuels. L'effet du mot est observé tandis qu'il n'y a plus d'effet de régularité de prononciation. L'individu dyslexique profond manifeste une difficulté à comprendre le langage parlé et a tendance à parler de manière télégraphique et hésitante. Il pourrait arriver à faire l'appariement mot/image en compréhension écrite alors qu'il est incapable de lire à haute voix le mot en question. Les patients qui sont diagnostiqués comme dyslexiques phonologiques ont pour difficulté de lire les non-mots prononçables (Siéroff, 2014). Pourtant la lecture des mots et des lettres est bonne. La grande différence au niveau performance de lecture entre des mots et non-mots est surprenante. Les erreurs de lecture des non-mots se retrouvent parmi les mots visuellement similaires.

Nous pouvons par la suite observer que les dyslexies varient l'une de l'autre; elles pourraient toucher l'encodage visuel des mots, la récupération sémantique et phonologique de ces derniers.

L'Inserm (2007) a cité certaines études de prévalence selon différentes langues, pays ou définitions de la dyslexie : en France, une étude longitudinale (Sprenger Charolles et coll., 2000) réalisée dans une école maternelle a montré que 33 enfants sur 500 ont pu être classés dyslexiques à l'âge de 10 ans, soit 6,6 % de la population. Lindgren et coll. (1985) ont montré que, selon trois manières de définir la dyslexie, à savoir que les critères varient en fonction de divergence entre la capacité en lecture et les performances en intelligence globale chez les participants, les taux de prévalence varient en Italie et aux États-Unis. Ces derniers sont de 3,6 % à 8,5 % en Italie et de 4,5 % à 12 % en États-Unis. En Asie, en fonction des critères, des prévalences de 2 % à 9,2 % ont été trouvées à Taïwan et de 5,4 % à 8,3 % au Japon (Stevenson et coll., 1982).

3 Dyslexies dans une langue alphabétique

De nombreuses études sont réalisées pour mieux comprendre les profils cognitifs chez les dyslexiques. Certains pensent qu'il s'agit d'un trouble d'attention visuo-spatial, d'autres ont pour hypothèse que cela soit plutôt un déficit phonologique. Jusqu'à quel niveau ces déficits affectent les fonctionnements cognitifs chez les individus vivant avec la dyslexie?

À travers un modèle plus récent, Valentina Tobia et Gian Marco Marzocchi de l'Université de Milano-Bicocca (2014) ont effectué une étude qui a mesuré les déficits verbaux et non verbaux chez les dyslexiques développementaux italiens. Les participants (âge moyen : 9,76 ans) dont un groupe dyslexique et deux groupes contrôles (âge chronique correspondant et âge de capacité en lecture correspondant) sont recrutés pour les tests suivants : la capacité de lecture, la connaissance en vocabulaire, la conscience phonologique, la dénomination automatique et rapide, la mémoire verbale, la recherche visuelle, le rappel verbal/visuel et l'attention visuo-spatiale. Il en résulte que, premièrement, aucun déficit en vocabulaire n'a été trouvé, ce qui signifie une bonne connaissance lexicale chez les participants. Dans un second temps, 34 % des sujets dyslexiques manifestent exclusivement des difficultés en phonologie, moins de 10 % des sujets dyslexiques ont purement des déficits d'attention visuo-attentionnel et la majorité des dyslexiques ont un profil mixte. Puis, parmi les difficultés phonologiques, la tâche de dénomination automatique et rapide (Rapid and automatised naming) semble en montrer une grande partie. Il s'agit de donner le nom de l'objet simple présenté, une pomme par exemple, pour évaluer l'automatisation de la parole chez le dyslexique. Dans l'étude présente, elle est considérée comme une tâche phonologique implicite. De même, la conscience phonologique en phonème, autrement dit la capacité à discriminer les phonèmes, est soulignée comme un facteur très prédicteur pour la dyslexie développementale chez les enfants italiens.

Alison M. Bacon et Simon J. Handley (2010) s'intéressent à la capacité de raisonnement chez les dyslexiques. Sont-ils limités par des déficits phonologiques et des déficits de mémoire verbale ? Pour y répondre, une étude est menée, dans laquelle les participants sont sollicités pour résoudre des problèmes de raisonnement syllogistique. Les questions de raisonnement relationnel sous la forme d'inférence transitive sont présentées avec des adjectifs plus ou moins figurables en papier (grand vs petit ; riche vs pauvre). On demande aux participants de noter à la fois leur raisonnement sur papier et de verbaliser à haute voix avant de donner leur réponse. Il en résulte qu'il n'y a pas de différence au niveau performance entre les dyslexiques et les non-dyslexiques. Indépendamment, comparés au groupe de sujets non-dyslexiques, les participants dyslexiques ont tendance à employer une stratégie visuelle pour se représenter des caractéristiques physiques indiquées dans les questions, ou ils trouvent d'autant plus facilement leurs représentations que les caractéristiques sont figurables. Tandis que les individus non-dyslexiques préfèrent la stratégie verbale. Les dyslexiques sont dans l'image, là où le non-dyslexique est dans le texte-proposition même si celui-ci privilégie également l'image lorsqu'il s'agit de classer (ordonner). En outre, un effet d'impédance visuelle est attendu par les chercheurs, à savoir qu'une région visuo-spatiale est activée en parallèle avec celle du raisonnement lorsqu'on rencontre une question inscrite à la dimension visuelle ou visuo-spatiale. Cette double sollicitation se manifeste avec une réduction d'exactitude et un temps de réponse plus longs. Néanmoins, cet effet n'est pas observé chez les participants dyslexiques, ils se comportent de manière indépendante au niveau de la richesse visuelle apportée par les questions. L'explication pour ce dernier est que chez les participants non-dyslexiques, le processus visuel activé par le contenu visuospatial est additionnel et ralentit ainsi le raisonnement, tandis que chez les dyslexiques l'imagerie visuelle fait partie de leur processus de raisonnement.

4 Dyslexies dans une langue logographique

Une étude par IRMf réalisée par Siok et al. (2004) a trouvé que l'aire visuelle des mots, qui se trouve au lobe temporal gauche est activée lorsqu'on réalise une lecture chez un individu sans troubles dys, mais pas chez les sujets dyslexiques. Ce qui est surprenant, c'est que ce fait n'est pas observé lorsqu'on passe de la lecture en langue alphabétique à celle en langue logographique comme le chinois. Par conséquence, une zone frontale moyenne gauche est sous-activée chez les dyslexiques chinois par rapport aux non-dyslexiques. Que se passe t-il chez eux ?

Hua ZHAO, Bao ping Zhang et ses collaborateurs (2016) ont réalisé une étude comparative entre les enfants chinois de la 3ème à la 6ème de l'école primaire qui parlent mandarin dont certains ont pour langue native le mandarin et d'autres ont pour langue native le ouïghour. Parmi les 7452 élèves venant de 42 écoles primaires, dont 5 écoles bilingues (mandarin et ouïghour), ils ont appliqué les mesures comme C-WISC (The China-Wechsler Intelligence Scale for Children), DCUC (Dyslexia Checklist for Ouïghour Children) et DCCC (Dyslexia Checklist for Chinese Children), enquête sur la capacité d'apprentissage, et HLE-RA Scale (Reading Ability Survey Scale). Les résultats montrent une différence significative au niveau de la prévalence de la dyslexie chez les enfants chinois qui parlent mandarin (3,9 %) et ceux parlant Ouïghour (7,0 %). Pour expliquer cette différence, le système langagier semble être un important facteur. Car le mandarin, étant une langue idéographique, il dissocie le système phonologique de la configuration visuelle des caractères chinois, alors que l'ouïghour est une langue alphabétique constituée de chaînes des lettres linéaires en une dimension.

Que se passe-t-il concrètement pendant la lecture en chinois ? Comment est la dyslexie en chinois ? Est-elle comparable à celle en langue alphabétique ?

Une recherche sur le traitement auditif chez les dyslexiques développementaux chinois est menée par Hsiao-Lan Sharon Wang, Martina Huss, Jarmo A.Hämäläinen et Usha Goswami en 2010. Ils ont effectué des mesures sur la conscience phonologique (Phonological awareness), la reconnaissance des Zhuyin (Symbol phonétique en chinois), le traitement des caractères, la mémoire de travail verbale, la dénomination automatique (Rapid automatised naming) et le traitement auditif basique avec multiples tests en chinois. Les tests permettent de constater que la dyslexie développementale en chinois est

aussi un trouble multi-facettes. Les enfants dyslexiques manifestent des déficits en mémoire verbale, dénomination rapide automatique et discrimination phonologique. Dans le but de comparer avec les dyslexiques alphabétiques, le test de reconnaissance des Zhuyin est inclus pour remplacer celui de prononciation des non-mots. Effectivement, les enfants chinois dyslexiques rencontrent des obstacles pendant ce dernier. La capacité en reconnaissance des caractères chinois est moins performante comparée au groupe contrôle. L'analyse de régression multiple montre que la conscience phonologique est tout de même le prédicteur le plus fiable pour la dyslexie développementale, plus précisément, c'est la capacité à discriminer les variations de la tonalité en chinois (les 4 tons spécifiques du chinois, qui sont indépendants des variations d'intonation prosodique qui portent les informations émotionnelles) et celle au Rise Time (le changement d'intensité en syllabe produit par l'articulation) qui sont moins performantes par rapport aux groupes contrôles.

5 Conclusion

La dyslexie n'est pas un trouble de la vision, néanmoins, les dyslexiques manifestent diverses difficultés en lecture des mots. Selon Siéroff (2014), « C'est la transformation du code visuel en un code d'une autre nature (phonologique ou sémantique) qui est atteinte. » Il semble que la perception des lettres est bonne, dans certains cas, l'individu dyslexique applique les règles de conversion graphème-phonème pour programmer le buffer phonologique, sans pour autant qu'il ait accès à la sémantique de ce dernier. Dans d'autre cas, l'individu extrait la sémantique des mots en perdant de vue l'aspect phonologique et orthographique. Le système de langue alphabétique regroupe la phonologie et la sémantique dans sa configuration visuelle, ce qui semblerait troubler les dyslexiques. L'étude comparative de Lindgren et coll. (1985) fait connaître que la difficulté en lecture chez les débutants alphabétiques augmente en fonction de la complexité au niveau de la combinaison visuelle et phonologique. Autrement dit, parmi les langues alphabétiques, le système langagier comme l'italien est relativement simple par rapport à celui de l'anglais américain, ainsi l'étude rend compte de moins de dyslexiques italiens.

Toutefois, la dyslexie existe tout de même dans un système logographique complètement différent comme le chinois. Le système de ce dernier dissocie l'aspect phonologique de ses caractères visuels même si une partie des caractères chinois pourraient prédire sa phonologie.

Les difficultés phonologiques majeures sont à la fois détectées chez les dyslexiques alphabétiques et chinois (Hua Zhao et al., 2016, Valentina Tobia et Gian Marco Marzocchi, 2014). Les dyslexiques chinois ont spécifiquement pour difficulté à discriminer la variation des 4 tons (le ton plat ; le ton montant; le ton descendant puis remontant; le ton descendant) portant une grande partie d'information sémantique. (Par exemple, mā (妈) pour mère, má (麻) pour lin, mǎ(马) pour cheval, mà(骂) pour insulter). Ce sont des homophones avec des tonalités différentes qui permettent de comprendre les mots en chinois avec l'aide de son contexte. Selon Hua Zhao et al. l'apprentissage de la langue influence aussi la performance en lecture. L'apparition officielle de Pinyin (système phonologique en chinois) vers la fin des années 90 a changé la façon dont les Chinois enseignent le langage, autrement dit on commence par la phonologie afin de connaître les caractères chinois par la suite. C'est probablement pour cela que, dans les années 80, il n'existait pas de dyslexiques en Chine selon des études de prévalence.

Le logiciel ADELE-TEAM accompagne l'individu dyslexique avec un synthétiseur vocal, lui facilite le processus de conversion graphème-phonème, et remplace la barre d'outils en lettres par des icônes symboliques puisque les dyslexiques n'ont pas de problème visuo-spatial, et qu'ils développent souvent, en revanche, une stratégie compensatoire avec les représentations imagées pour éviter la lecture (Alison M. Bacon et Simon J. Handley, 2010). La possibilité de ralentir la voix du synthétiseur vocal et d'avoir des silences ajustables entre les mots et les phrases permet de soulager l'utilisateur dyslexique avec le déficit phonologique (Valentina Tobia et Gian Marco Marzocchi, 2014). Tout particulièrement la présence de silences prolongés facilite l'accès au niveau sémantique de chaque mot avant que le suivant ne vienne solliciter l'attention auditive.

Face à une dyslexie de langue alphabétique de type « difficultés de conversion morphème-graphème », la substitution de l'écoute à la lecture oculaire est utile et, face à la dyslexie tonale des langues idéographiques telles que le chinois, le contrôle du débit verbal et surtout des silences, donne de la précision et du temps à l'identification lexicale de chaque mot.

Références

Logiciel ADELE-TEAM. Disponible à l'adresse : http://www2.univ-paris8.fr/ingenierie-cognition/master-handi/adele-team/ (consulté le 26 mai 2017)

American psychiatric association (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* 5th Edition. Arlington, VA: American Psychiatric Association.

Bacon, A.M., Handley, S.J. (2010). Dyslexia and reasoning: The importance of visual processes. *British Journal of Psychology*, 101, 433-452.

Barrouillet, P., Billard, C., De Agostini, M., Démonet, J-F., Fayol, M., Gombert, J.E., Habib, M., Le normand, M-T., Ramus, F., Sprenger-Charolle, L., Valdois, S. (2007). *Dyslexie, dysorthographie, dyscalculie : Bilan des données scientifiques*, Les editions Inserm.

Coltheart M., Curtis B., Atkins P., Haller M. 1993, Models of reading aloud: Dual-route and parallel-distributes processing approaches. *Psychological Review*, 100, 589-608.

Henderson, L. (1982). Orthography and word recognition in reading. London, Academic Press.

Lindgren, S.D., De Renzi, E., Riehman, L.C. (1985). Cross-national comparisons of developmental dyslexia in Italy and the United States, *Child Development*, 56, 1404-1.

Marshall, J.C., Newcombe, F. (1973). Patterns of paralexia: A psycholinguistic approach. *Journal of Psycholinguistic Research*, 2,175-199

Marshall, J.C., Newcombe, F. (1973). Syntactic and semantic errors in paralexia. *Neuropsychologia*, 4,169-176

Siéroff, E. (2014). La neuropsychologie, approche cognitive des syndromes cliniques. Armand Colin.

Tobia, V., Marzocchi, G.M. (2014). Cognitive Profiles of Italian Children with Developmental Dyslexia. *Reading research quarterly*, 49(4), 437-452.

Valdois, S. (1996). Les dyslexies développementales. Solal.

Wang, H-L. S., Huss, M., Hämäläinen, J.A., Goswami, U. (2010). Basic auditory processing and developmental dyslexia in Chinese, Springer Science+Business Media B.V.

Zhao, H., Zhang, B., Chen, Y., Zhou, X., Zuo, P. (2016). Environmental Risk Factors in Han and Uyghur Children with Dyslexia: A Comparative Study, Plos One.

Les étoiles entre nos mains : une innovation d'accessibilité handicap dans les champs associatifs et d'éducation populaire ?

Adrien Morel de Villepoix¹
Equipe THIM CHArt (EA 4004), Université Paris 8, Saint-Denis, France

adrien.morel.de.villepoix@gmail.com

Résumé

Cet article propose une démarche d'innovation en conception dans le domaine de l'accessibilité. Elle conjugue à la fois connaissance sur le handicap et analyse du handicap en situations dans lesquelles se mêlent acquisition de connaissance, animation et conception, et mise en relation et collaboration de personnes aveugles (participants) et sans handicap (animateurs, concepteurs). Effectué dans le cadre d'un stage de master 2 en ergonomie, l'objectif concret est le développement d'une animation pédagogique interactive en astronomie pour des personnes aveugles. Après avoir retracé les différentes phases de conception et l'étude des échanges entre les concepteurs et nonvoyants, l'analyse de l'activité et l'auto-confrontation ont permis d'extraire par consensus les critères essentiels de conception et d'animation qui doivent être retenus.

1 Introduction

Dans le domaine de l'animation, les dispositifs pédagogiques pour aveugles visent à transmettre par le toucher ou le son, des informations qui sont normalement accessibles par la vue. Ainsi hors du milieu scolaire pour lequel une réflexion a été menée (e.g. Bris, 2003), peu d'initiatives ont été proposées par le milieu associatif et professionnel. Dans tous les cas, la communication s'appuie sur le support statique de planches en relief (Chen, 2015). Ces aides, bien qu'efficaces, placent la personne non-voyante en spectateur; elles ne l'incitent pas à manipuler et transformer son environnement. Certaines initiatives sont cependant intéressantes et placent le non-voyant en plein cœur d'une action, d'une narration et dans un environnement manipulable et capacitant (e.g. Falzon, 2005; Arnoud, 2013). En exemple, le jeu vidéo A Blind Legends du studio français DOWINO, conçu pour des aveugles. Ces initiatives restent cependant rares, peu connues et peu exploitées.

Cet article présente les différentes étapes de conception d'une animation pédagogique pour un public non-voyant. Nous y décrivons les prototypes et la démarche d'intervention que nous avons menée auprès des acteurs de l'association Planète Sciences à l'origine du projet.

Dans un premier temps, nous présenterons le terrain et le contexte d'intervention. Dans un deuxième temps, nous expliciterons notre démarche d'action et son impact sur la conception et l'animation. Dans une troisième partie, nous décrirons le dispositif que nous avons conçu avec les acteurs. Enfin, dans un quatrième temps, nous présenterons les tests utilisateurs et leurs résultats.

2 Contexte de terrain

Planète Sciences est une association loi 1901 créée en 1962. Elle intervient auprès de différents organismes éducatifs pour promouvoir et accompagner des projets de médiation scientifique à destination des jeunes. Pour favoriser la découverte et la pratique de la science, elle élabore, structure et organise des projets, des événements et des formations et collabore avec des chercheurs, des enseignants, des éducateurs, et des animateurs.

En 2006, Planète Sciences a ouvert certaines animations aux personnes en situation de handicap. Parmi ses initiatives, un projet d'accessibilité nommé « Astronomie Vers Tous ». Ce dernier a pour objectif d'initier les personnes porteuses de handicap à l'astronomie. C'est dans le cadre de ce projet que nous sommes intervenus. Nous devions proposer une démarche et une animation pédagogique innovantes pour des non-voyants.

3 Démarche d'intervention

Nous situons notre démarche d'intervention dans un cadre méthodologique pré-existant pour l'accompagnement d'innovations en conduite de projet (Folcher, 2015). Structurée autour de la mise en place d'un environnement capacitant (Falzon, 2005; Arnoud, 2013), facilitant le développement d'un pouvoir d'agir (Rabardel, 2012). Cette démarche repose sur un collectif de travail qui entraîne un développement de connaissances et de compétences qui structurent et encadrent la conception d'un nouveau dispositif. Elle se distingue d'autres approches telles que celles du design universel (Story, 1998) ou du design inclusif (Clarkson 2003) en plaçant tous les acteurs en situation d'être « des concepteurs pour et dans l'usage partageant une même réalité. » Cette action d'innovation collaborative permet la construction d'un « référentiel opératif commun » (Barcelini, 2013), des activités, des usages et des représentations de chacun. Elle a pour vocation de réunir une pluralité d'acteurs, issus de milieux professionnels ou sociaux différents, qui n'ont pas l'habitude de collaborer.

Dans le cadre d'un projet d'accessibilité, cette rencontre a permis non seulement de réduire les gênes psychologiques que pouvaient ressentir les animateurs face à la réalité du handicap, mais également d'initier des modalités de conception et d'innovation collectives au plus près de la réalité du terrain et du ressenti des acteurs, qu'il soit animateur, concepteur ou non-voyant.

Nous avons repris la démarche d'innovation dans et pour l'usage (Folcher 2015) qui repose sur deux principes:

Principe de co-diagnostic : à partir des entretiens et des observations recueillis sur le terrain, nous donnons à voir aux acteurs une matière première d'activité. Dans le cas qui nous concerne, il s'agit de l'activité des animateurs en animations et de l'activité dans la vie quotidienne des non-voyants. L'important est de faire débattre les acteurs afin

- d'arriver à un diagnostic consensuel sur lequel chacun peut s'accorder. C'est à partir de ce diagnostic que nous lançons la conception du dispositif.
- Principe de co-conception : ce second principe se traduit par trois étapes de conception. Premièrement, on ouvre un espace des possibles dans lequel peuvent s'affirmer les idées de conception les plus farfelues. Deuxièmement, on réduit après débat le champ des possibles en sélectionnant des axes de développement. Troisièmement, une fois le prototype réalisé, on introduit une phase de tests et de corrections conjointes.

4 Les étoiles entre nos mains : une animation à destination des aveugles

4.1 Co-diagnostic : Deux problématiques ont été posées par les acteurs

- Problématique 1 : La méconnaissance par les animateurs des contraintes et des ressources développées par les non-voyants entraine à la fois une gêne, une appréhension dans la communication entre l'intervenant et le public ciblé, mais aussi des difficultés dans l'exécution des animations.
- Problématique 2 : La majorité des animations créées par le projet « Astronomie Vers Tous » placent le public non-voyant en position de spectateur. Aucune activité ludique n'a vraiment été créée.

4.2 Co-conception

L'espace des possibles. L'espace des possibles a été pensé comme un espace participatif et pédagogique (Dugué, Petit, Daniellou, 2010), où les acteurs (la personne handicapée, l'animateur, le concepteur et l'ergonome porteur d'activités) ont pu questionner et investiguer la notion de handicap dans le cadre d'une activité d'animation. La mise en commun, la confrontation des savoirs (St-Vincent et al., 2000) et les échanges ont permis de mettre en évidence les usages comme un territoire partagé.

Les choix de conception. Le collectif a décidé de travailler sur l'animation d'un graphique de classification des étoiles en fonction de leur densité et de leur chaleur, nommé diagramme de Hertzsprung-Russell (ou diagramme HR).

Cinq critères de conception ont été retenus par les acteurs lors de ces échanges :

- 1. L'importance de ne pas surcharger d'information les outils pédagogiques et les explications (pas plus de trois informations);
- 2. Ne pas hésiter à expliquer tout ce qu'il y a autour de l'animation pour que le non-voyant puisse se faire une représentation complète de son espace ;
- 3. Bien séparer les temps de l'animation (temps explicatif, temps exploratoire, temps expérimental);
- 4. Trouver d'autre sens pour transmettre des informations visuelles ;
- 5. Les non-voyants doivent pouvoir manipuler et être actifs pendant l'animation.

Ces critères ont été une première étape dans la démarche de co-conception. Ils ont permis de poser clairement un diagnostic et des orientations partagées par tous les acteurs. Nous devions maintenant passer au maquettage du prototype.

Différents concepts centrés activité. Parmi plusieurs concepts d'animation pour aveugles proposés et questionnés par les acteurs, quatre ont été retenus dans une première phase. Deux d'entre eux ont fait l'objet d'une activité de prototypage. Nous décrivons ci-dessous ces deux concepts qui ont émaillé la co-conception.

Un diagramme HR en puissance 4

Le croquis ci-contre (Figure 1) a été réalisé par les acteurs du collectif de travail. Il représente un diagramme HR mélangé au jeu puissance 4. Le rôle du non-voyant est de glisser les étoiles dans des cases prédéfinies. Ce concept d'animation fut la première étape de conception du dispositif final. En l'état cependant, cette première idée posait plusieurs problèmes pédagogiques dans l'exécution de l'animation. Premièrement, bien que celle-ci amenait le non-voyant à participer, elle restait cantonnée à un cadre prédéfini et peu flexible. L'animation telle que proposée donnait à ressentir un espace de liberté inexistant. Deuxièmement, les échanges ont permis de mettre en évidence que le dispositif ne permettait pas d'accompagner, de soutenir correctement un discours pédagogique.

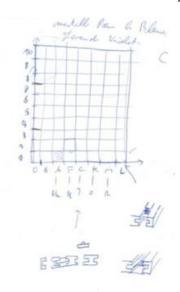


Figure 1 : Schéma puissance 4

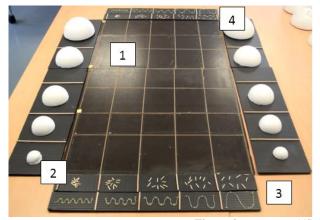
Le sens de l'odorat pour faire passer des informations visuelles

L'un des non-voyants présents dans le collectif de travail, avait proposé d'utiliser d'autre sens que le son et le toucher pour faire passer des informations visuelles. Il pensait à l'odorat. Plusieurs dispositifs pour aveugles ont déjà été conçus dans ce sens. Le Louvre notamment avait conçu tout un dispositif d'animation centré sur l'odorat et le toucher pour décrire et faire voir des peintures à des aveugles. L'idée a été reprise par les autres acteurs lors de la construction du premier prototype. Sur le diagramme HR, la chaleur des étoiles est représentée par un code couleur allant du rouge au blanc. L'idée était de remplacer ce code par un dispositif d'information centré sur l'odorat (e.g. rouge = Cerise, Orange = Orange, Bleu = Myrtille). La prise en main de ce premier dispositif était cependant complexe et peu pratique du point de vue de l'activité. Les participants aveugles au premier test utilisateurs cofondaient les odeurs. La manipulation des odeurs par le biais d'huiles essentielles était difficile d'utilisation.

Face à ce constat, l'équipe a cherché à développer d'autres propositions. Il a été convenu qu'il était difficile de transférer à l'identique le diagramme HR afin de l'adapter aux aveugles. Il fallait repenser les concepts. Le dialogue qui suit est la retranscription d'un échange entre les acteurs et l'ergonome sur cette recomposition des critères de conception.

- Ergonome : Que représentent les couleurs dans le diagramme HR ?
- Acteur 1 : La température ! Plus c'est bleu, plus c'est chaud, plus c'est rouge, plus c'est
- Ergonome : En physique, y a-t-il d'autres moyens pour représenter la température ?
- Acteur 1 : On peut expliquer la température par la collision des atomes.
- Acteur 2 : Sinon, nous pouvons représenter les couleurs par des longueurs d'onde.
- Ergonome : Quel serait le mieux ?
- Acteur 3: Les deux sont envisageables, cela dépend de la façon dont on va tourner l'animation. Quelle notion nous souhaitons mettre en relief.
- Ergonome: Nous pourrions faire les deux?
- Acteur: Oui pourquoi pas.
- La réflexion commune autour de ces deux concepts a permis de faire avancer le projet et de poser les bases du prototype à venir. Ce va-et-vient entre conceptualisation et prototypage collectif a ainsi donné la voix au prototype définitif.

Le prototype définitif. Le prototype final (Figure 2) résulte d'un processus de maquettage itératif dans lequel une maquette est à la fois conçue et explorée par les acteurs du collectif de travail. Chaque exploration donne lieu à des modifications ou renouvellements des critères et des spécifications associés.







Le tableau ci-dessous (Tableau 1) détaille les critères de conception définitifs choisis par les acteurs (i.e. animateur, concepteur et non-voyant)

	Critères de conception	Verbatims et observations des non-voyants et des acteurs	Solutions retenues
1	Un repère tactile sur le diagramme : faciliter la représentation géométrique nécessaire à l'animation (Lederman, 1993)	« Il est difficile de se repérer sur la surface. » (non-voyant) « Il faudrait quadriller la surface, elle nous permettra de nous repérer plus facilement » (non-voyant) « Avec des grilles, on distinguerait mieux l'abscisse et l'ordonnée » (non-voyant)	Mise en place d'un quadrillage tactile afin de repérer l'abscisse et l'ordonnée du diagramme
2	Des légendes amovibles : permettre la prise en main physique de la légende (Lederman, 1993)	Issus d'observations	Mise en place de légendes amovibles afin d'éviter des déplacements inutiles. Cela permet de se concentrer sur le dispositif et les idées qu'il véhicule
3	Réaliser plusieurs légendes tactiles représentant des notions différentes (Bris, 2003)	« Pour l'abscisse vous pourriez utiliser du tactile plutôt que des odeurs » (non-voyant) « Avec plusieurs légendes, nous pouvons aborder plus de notions. Et en utilisant un tactile différent on peut proposer d'autres sensations qui seront sans doute plus faciles pour la personne. » (Acteurs)	Deux légendes en abscisse : l'une décrit des longueurs d'onde (+ les ondes sont rapprochées + c'est chaud ; + les ondes sont distendues + c'est froid.) ; l'autre décrit des atomes + ou moins proches. (+ les atomes sont proches + ils rentrent en collision et + il fait chaud ; + les atomes sont espacés + il fait froid
4	Ajouter les légendes sur les 4 rebords du diagramme	« Mettre les légendes aux quatre coins du dispositif nous évite de bouger. C'est difficile pour nous de se figurer l'espace. À chaque fois que l'on bouge, on doit arriver à se représenter à nouveau cet espace »	Mise en place des légendes aux quatre coins du dispositif afin d'éviter des déplacements inutiles. Cela permet de se concentrer sur le dispositif et les idées qu'il véhicule
5	11 sphères en polystyrène pour chacune des notions proposées que les non- voyants manipulent et placent sur le diagramme (Hatwell, 2000, Gentaz, 2005)	« Si nous faisons deux légendes pour l'abscisse, il faut les boules en polystyrène qui y correspondent. » (Acteurs) « Il va falloir coller les légendes sur les boules en polystyrène. » (Acteurs)	Mise en place de sphères en polystyrène afin de permettre la manipulation du dispositif par les non-voyants

Tableau 1 : Critères de conception définitifs

5 Test utilisateur

Le test utilisateur s'est déroulé, en trois temps, avec cinq personnes non-voyantes, deux animateurs et deux concepteurs:

- 1. Un test utilisateur avec une mise en condition d'animation réelle et une manipulation du prototype par les non-voyants. Cette étape, réalisée sans pression ni contraintes temporelles, a été filmée.
- 2. Un débriefing entre les animateurs et les personnes aveugles participant au test.
- 3. Une auto-confrontation (quelques jours plus tard), incluant les animateurs et les concepteurs, pour visionner et commenter les enregistrements vidéo des tests réalisés.

Protocole du test utilisateur :

- 1. Expliquer le diagramme HR et le dispositif. Les animateurs expliquent comment fonctionne le diagramme HR et à quoi il sert. Il présente également le dispositif tactile. La durée d'explication était comprise entre 5 et 10 minutes.
- L'exploration de l'espace et du dispositif. Les animateurs invitent les non-voyants à parcourir le dispositif et l'espace environnant. La durée d'exploration était comprise entre 10 et 20 minutes.
- 3. Exploration des légendes. Les animateurs proposent aux non-voyants d'explorer les légendes. Pendant que ces derniers se familiarisent avec le dispositif, les animateurs expliquent leur signification et la manière de les lire.
- Le non-voyant devient acteur de l'animation. Les participants non-voyants comparent et placent sur le diagramme les 11 sphères données par l'animateur. Le positionnement des sphères en abscisse et en ordonnée se fait par les légendes tactiles. Les animateurs sont là pour guider, renseigner, corriger et expliquer les erreurs si nécessaires. La durée d'exploration a été homogène (moy = 47 minutes, min = 45 minutes, max = 50 min).
- Conclusion de l'animation, répondre aux questions. Une fois les 11 sphères placées, les animateurs invitent les non-voyants à retoucher le dispositif, afin de sentir la courbe indiquée par les sphères. C'est une diagonale. La durée de cette dernière phase était comprise entre 5 et 15 minutes.

6 Résultats du test utilisateur

Sur une approche par « analyse de l'activité » (i.e. analyse qualitative mettant en relief la nature et les séquences de micro-activités, les facilités, les difficultés à faire et les habiletés sollicitées), l'analyse des enregistrements vidéo a révélé plusieurs améliorations possibles sur le plan du protocole d'animation et sur les interactions entre animateurs et non-voyants.

Au niveau de l'animation, les animateurs ont compris et intégré qu'il était possible voire nécessaire de laisser les participants découvrir le dispositif sans aide extérieure. L'explication devait accompagner le non-voyant et non le devancer comme c'était le cas durant le test. Le choix des légendes devait également revenir au participant. Ce qui lui permettait d'être plus à l'aise dans la manipulation du dispositif et dans l'écoute des explications. L'aide aux participants était nécessaire, mais là encore, elle devait être mesurée pour éviter d'être à la fois trop présente ou pas assez. (« Je n'étais pas à ma place, j'aurais dû me placer différemment pour la laisser manipuler les boules en polystyrène. »)

Les animateurs ont également pointé les difficultés qu'ont les non-voyants pour se représenter l'espace et des formes géométriques. Afin de pallier cela, ils ont proposé de revenir sur des notions géométriques avant de commencer l'animation, dans le but de leur apporter l'appréhension de l'espace, en d'autres termes les notions de droite, de diagonale et de rectangle nécessaires à la compréhension du diagramme HR. Pour permettre cette appréhension d'espace géométrique le collectif de travail a inventé le dispositif suivant : en prenant le fond d'une boîte d'allumettes, ils proposent aux non-voyants de passer leur doigt sur tous les contours de la boîte. Ils peuvent alors se figurer mentalement les différentes formes nécessaires au diagramme (Gentaz, 2006). Pour les aider à se représenter une diagonale, l'animateur ajoute une allumette à un endroit spécifique (en diagonale) dans le fond de la boite.

Enfin, une trame d'animation a été écrite et soumise à l'ensemble du collectif de travail :

- Prise de contact : Tous les animateurs ont compris qu'il était important de tisser un lien de confiance entre eux et les personnes en situation de handicap. Ce lien est aussi important pour eux que pour le public. Il s'agit dans cette étape de poser clairement les difficultés associées au handicap, de demander aux participants comment ils pourraient les résoudre et d'imaginer ensemble des dispositifs pouvant faciliter l'animation. Cette étape permet également à l'animateur d'investiguer les connaissances et les représentations du public, de pallier ainsi les lacunes qui pourraient survenir.
- Appréhension des outils et conception : Il s'agit de présenter au public les différents outils qui ont été élaborés dans le cadre du projet « Astro vers tous ». Ainsi, les participants pourront manipuler et voir avec quel outil ils sont le plus à l'aise. Si l'outil n'existe pas, les animateurs peuvent toujours proposer aux participants de les élaborer ensemble. Ce temps peut également servir d'introduction aux différentes notions qui seront nécessaires dans l'animation (par exemple : les formes géométriques pour les aveugles).
- Animation: L'animateur commencera l'animation dans un cadre de confiance et en étant certain de ne pas perdre l'attention du public à qui il s'adresse.
- Débriefing : À la fin de l'animation, il semble important que les animateurs puissent avoir un retour d'expérience. C'est pourquoi les acteurs ont proposé de conclure systématiquement les animations par un débriefing entre eux et le public.

7 Conclusion

La démarche d'innovation autour d'un collectif de travail dans le domaine de l'accessibilité handicap, permet aux différents acteurs de développer des compétences utiles à la mise en œuvre d'un environnement capacitant et d'un pouvoir d'agir (Falzon, 2010). Cette démarche de conception dans le domaine de l'accessibilité facilite, nous l'avons constaté, les échanges entre le groupe des utilisateurs aveugles et les concepteurs. Par son action, elle permet la mise en œuvre d'un dispositif de conception rattaché aux réalités de vie des personnes handicapées dans leur spécificité (ici être aveugle) sous l'angle d'un handicap de situation dans lequel le contexte a autant d'importance que la nature des difficultés de la personne dans la production ou l'élimination du handicap.

Cette approche anthropocentrée vise à travailler les représentations et les usages des acteurs en situation de handicap ou non. Cette rencontre entre deux univers très différents permet, pour le concepteur, de mieux appréhender les difficultés et les ressources liées au handicap et pour les personnes en situation de handicap, d'en faire des co-concepteurs.

Le prototype, toujours en co-conception, est porté à évoluer d'autant plus que n'ont pas été exploitées encore les potentialités des objets communicants, c'est-à-dire, par le biais des technologies électroniques d'accroitre la dynamique potentielle de l'animation et de ses supports.

Références

Arnoud, J., & Falzon, P. (2013). La co-analyse constructive des pratiques. In Ergonomie constructive. Presses Universitaires de France, 223-236.

Barcellini, F., Van Belleghem, L., & Daniellou, F. (2013). Les projets de conception comme opportunité de développements des activités. In Falzon Pierre (dir.). Ergonomie constructive, Presses universitaires de France, 191-206.

Béguin, P. (2013). La conception des instruments comme processus dialogique d'apprentissages mutuels. In Ergonomie constructive. Presses Universitaires de France, 147-160.

Bris, M. (2003). Recommandations pour la transcription de documents. Documentation INSHEA, Suresnes, France. http://www.inshea.fr/sites/default/files/SDADVrecommandations transcription.pdf (consulté le 26 mai 2017)

Chen, Y. (2015). Analyse et interprétation d'images à l'usage des personnes non-voyantes: application à la génération automatique d'images en relief à partir d'équipements banalisés. Thèse de doctorat, Université Paris 8, France.

Clarkson, J., Coleman, R., Keates, S., Lebbon C. (2003). Inclusive Design: Design for the whole population. London: Springer.

Dugué, B., Petit, J., & Daniellou, F. (2010). L'intervention ergonomique comme acte pédagogique. Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé, 12, 3.

Falzon, P. (2005) Ergonomics, knowledge development and the design of enabling environments. Proceedings of the Humanizing Work and Work Environment HWWE'2005 Conference, December 10-12 Guwahati, India, 1-8.

Folcher.V. (2015). Conception pour et dans l'usage, la maitrise d'usage en conduite de projet Journal of Human Mediatised Interactions / Revue des Interactions Humaines Médiatisées, vol. 16, issue 1, 39-60.

Gentaz, É. (2005). Percevoir l'espace avec la main: rôle des spécificités du système haptique manuel dans la perception de l'espace. Rapport de fin de recherche issu de l'ACI cognitique. https://hal-descartes.archives-ouvertes.fr/hal-00003509/document (consulté le 26 mai 2017)

Gentaz, É., & Gaunet, F. (2006). L'inférence haptique d'une localisation spatiale chez les adultes et les enfants: étude de l'effet du trajet et du délai dans une tâche de «complètement de triangle». L'année psychologique, 106(02), 167-190.

Gouédard, C., & Rabardel, P. (2012). Pouvoir d'agir et capacité d'agir»: une perspective méthodologique? Pistes, 14, 2.

Gouédard, C. (2015). Concevoir des situations pour aider de jeunes aveugles à développer leur pouvoir d'agir. In L'ergonomie orientée enfants. Concevoir pour le développement, 299-319.

Hatwell, Y., Streri, A., & Gentaz, E. (2000). Toucher pour connaître: Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle. Presses Universitaires de France.

Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (1993). Extracting object properties through haptic exploration. Acta psychologica, 84(1), 29-40.

Story, M. F., Mueller, J. L., & Mace, R. L. (1998). The universal design file: Designing for people of all ages and abilities. NC State University, Center for Universal Design.

Interface de Lecture de Cartes pour Joueur Malvoyant

André Kiener, Patrick Abellard, Michel Garnier I3M EA 3820. IUT GEII Université de Toulon. TCG

Résumé

Le système présenté a été conçu pour permettre à un joueur de bridge de continuer à jouer malgré une dégradation progressive et irréversible de sa vision. La solution retenue est simple à mettre en œuvre et peu coûteuse. De plus, elle ouvre des perspectives intéressantes pour de nombreuses autres applications.

1 Introduction

A la question "Est-ce que les aveugles (ou malvoyants) peuvent jouer aux cartes ou à d'autres jeux?", la réponse est oui dès lors qu'une compensation efficace de la déficience peut être mise en place (Picou, Burger, 1994).

Par exemple, il est possible d'ajouter des informations Braille sur des cartes (belote, tarot, ...), sur des pièces (scrabble, backgammon, ...), de coller des points en relief sur les faces d'un dé, ou de repérer des textures ou des formes. Il n'existe pas dans le commerce, une version pour malvoyants de tous les jeux alors qu'un nombre important d'entre eux pourraient être adaptés (Sahel, 2010 ; Souquet, 2002).

Lorsqu'on devient progressivement aveugle (Griffon, 1996), on ressent frustration et panique et un long processus de réapprentissage se met alors en place touchant à tous les aspects de la vie quotidienne nécessitant parfois des outils spécifiques de compensation du handicap (Griffon et Renoux, 2001).

C'est dans ce contexte, qu'a été développé un système simple d'assistance pour un joueur de bridge participant depuis toujours à des tournois de haut niveau.

La première partie présente les raisons du choix de la méthode retenue parmi celles qui ont été envisagées. Puis, les moyens utilisés sont présentés dans la deuxième partie et les résultats obtenus sont fournis dans la troisième partie. Des perspectives d'applications en cours d'étude à d'autres domaines touchant au handicap visuel sont exposées en conclusion.

2 Méthode

Puisque le joueur ne peut pas voir les cartes, c'est une interface qui va le faire à sa place et lui fournir le résultat de la lecture sous forme sonore. Les contraintes de jeu en temps réel imposant un traitement rapide des données, il a été convenu de ne pas mettre en place un algorithme de traitement numérique d'image pour reconnaître les cartes, mais de le réaliser par l'utilisation de QrCodes plus simples et moins coûteux que des points en relief.

De plus, la demande du joueur imposant l'obligation de ne pas avoir à installer et à calibrer un système de caméra dans chaque salle de jeu, il a été décider d'utiliser le téléphone portable lorsqu'il en possède un. La figure 1 présente la constitution du système. Si ce n'est pas le cas, une deuxième version a été développée et est également présentée dans cet article.

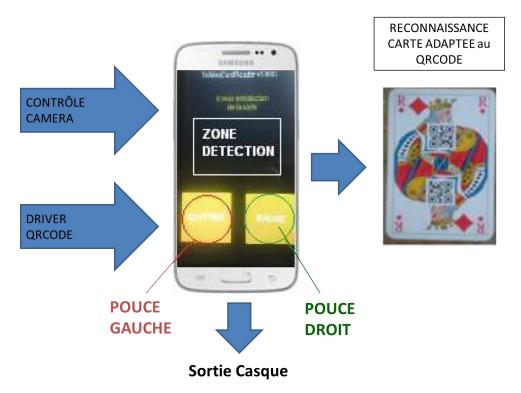


Figure 1: Présentation du système

3 Moyens

Le système présenté sur la figure 2, utilise :

- Un smartphone de type Android,
- Un jeu de cartes QrCode,
- Un casque ou des écouteurs,
- Un support en plastique pour placer les cartes et le téléphone dans un réceptacle ne présentant que 2 espaces évidés (à gauche et à droite) pour une reconnaissance tactile extrêmement simple et sans aucun risque d'erreurs de positionnement des doigts.





Figure 2: Présentation du matériel

Après distribution des cartes, et avant d'enlever les siennes les unes après les autres, le joueur appuie sur le bouton droit pour écouter le nom de la carte dans ses écouteurs ou son casque. Comme tous les autres joueurs, il la range alors dans l'autre main pour constituer son jeu en mémorisant bien la position de chacune des cartes. Il peut à tout moment appuyer sur le bouton « Pause » et réécouter l'ensemble de ses cartes ou quitter en appuyant sur le bouton gauche. Il lui est alors demandé la confirmation dans la langue qui aura été choisie au début de la partie. Il y a la possibilité de jouer dans 8 langues.

Le fonctionnement est basé sur l'utilisation de la librairie téléchargeable Zxing qui permet de lire des QrCodes. Cette librairie a été adaptée au programme de reconnaissance de la caméra du téléphone et 4 classes ont ensuite été développées, comme précisé sur la figure 3 : une classe caméra, une classe texture, une classe Qrdecode, une classe Quitter.

La même application a été développée pour deux autres catégories de personnes déficientes visuelles (celles qui n'ont pas de téléphone portable et celles qui peuvent être hypersensibles aux ondes électromagnétiques). Le matériel utilisé est alors constitué par : un Raspberry PI 3 1G Ram Processeur Arm, une webcam, un casque ou des écouteurs.

Pour la gestion de la bibliothèque Zxing sous Linux, un exécutable a été développé à partir du programme crée sous Geany (IDE de programmation Python) pour élaborer un programme principal et deux sous-programmes comme indiqué sur la figure 4.

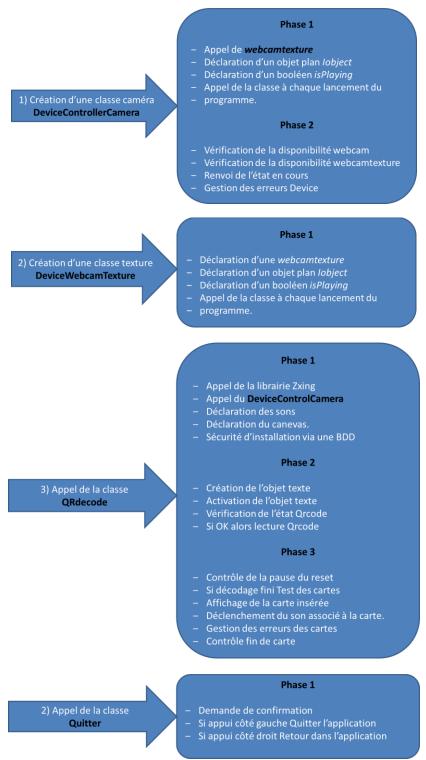


Figure 3: Fonctionnement avec smartphone Android

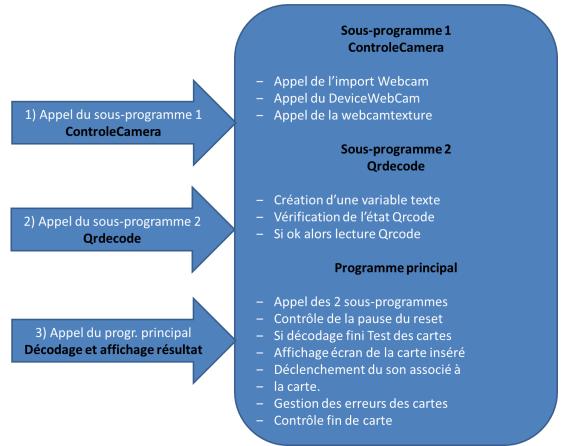


Figure 4: Fonctionnement avec une webcam

4 Résultats

Les deux applications Android et Linux fonctionnent parfaitement bien et sont utilisées en tournoi. Huit langues sont disponibles. Plusieurs types de jeux peuvent être concernés. 19 personnes pratiquant dans 7 clubs de bridge et 3 maisons de retraites à Toulon et Hyères ont utilisé le système pendant 2 mois et ont donné leurs avis par une note sur 10. Les résultats obtenus présentés dans les 2 tableaux nous permettent d'observer que :

- L'ergonomie du support du téléphone leur convient globalement (>8)
- La prise en main est bonne (>8)
- L'utilisation des boutons est réalisée facilement après 2 à 3 essais (>8)
- L'aide à la décision leur a permis de retrouver leur niveau pour plus de la moitié d'entre eux: 12/19
- Quel que soit le type de jeu de cartes utilisé, les joueurs concernés sont globalement satisfaits et le recommandent pour les tournois.

Nb.Pers.	%Déficience visuelle	Ergonomie	Prise en main	Utilisation après 2 essais	Pertinence pour les tournois de bridge
7	X<50%	7.4	8.1	7.8	7.3
5	50% <x<80%< td=""><td>8.2</td><td>8.9</td><td>8</td><td>8.5</td></x<80%<>	8.2	8.9	8	8.5
7	x>80%	8.6	9.3	8.2	9.2
19	Bilan	8.05	8.75	8	8.31

Nb.Pers.	%Déficience visuelle	Ergonomie	Prise en main	Utilisation après 2 essais	Pertinence pour les tournois de bridge
7	X<50%	7.4	8.5	7.8	6
5	50% <x<80%< td=""><td>7.5</td><td>8.2</td><td>8</td><td>7.5</td></x<80%<>	7.5	8.2	8	7.5
7	x>80%	8.2	8.3	8.2	8.3
19	Bilan	7.7	8.34	8	7.24

5 Conclusion

A partir de ce principe, différentes applications des QrCodes sont possibles pour les personnes malvoyantes dans de nombreux autres domaines, comme par exemple :

- Reconnaissance de médicaments pour éviter de toute confusion avec des médicaments différents mais présentant des formes similaires,
- Déplacements sécurisés dans un appartement par balisage des portes et couloirs,
- Reconnaissance de tout type de produits en différents lieux (grande surface, médiathèque,...).

Références

Griffon, P. (1996). Devenir malvoyant à l'âge adulte. Inforum 3/96 (pp. 3-4). Zurich.

Griffon, P. Renoux, P.F. (2001). Nouvelle approche dans la prise en charge des personnes âgées présentant une déficience visuelle récente. Colloque « Handicap, cognition et prise en charge individuelle ». Association des Jeunes Chercheurs en Sciences de la Cognition, Aix-Marseille.

Picou, N. Burger, D. (1994). Cnception d'interfaces homme-ordinateur pour les utilisateurs déficients visuels, vers des recommandations spécifiques. XXIX Congrès SELF. Paris.

Sahel, J.A. (2010). Handicap visuel: causes, prise en charge, perspectives. Handicap visuel, handicap auditif, Innovations. Ussel.

Souquet, B. (2002). L'adaptation des technologies nouvelles et leurs utilisations en cours. Colloque Jeunes déficients visuels, Unesco. Paris.

Différences d'accès des widgets web rencontrées par des personnes ayant différents types de handicap

Letícia Seixas Pereira¹ et Dominique Archambault¹ EA 4004 - CHArt-THIM, Université Paris 8, France leticia.seixas-pereira@etud.univ-paris8.fr, dominique.archambault@univ-paris8.fr

Abstract

L'Internet est devenu un outil très important pour l'inclusion et pour la participation des personnes handicapées dans la société et les activités quotidiennes. Cependant, les technologies web évoluent très rapidement et la recherche sur l'accessibilité de ces environnements doit les accompagner. Cet article présente certaines des barrières auxquelles les personnes ayant une déficience visuelle ou ayant une IMC font face lors de l'interaction avec certains éléments caractéristiques de ce nouveau web. Ainsi, nous soulignerons l'importance d'inclure plusieurs profils de participants différents à des évaluations de l'accessibilité du web.

1 Introduction

L'accessibilité du web vise à permettre à ses utilisateurs de percevoir, comprendre, naviguer et contribuer au web. Cependant, cette tâche peut être vraiment difficile pour des personnes handicapées, car la richesse des ressources fournies n'est souvent pas accessible pour certains d'entre eux (Harper & Chen, 2012). En outre, l'évolution rapide des technologies web crée fréquemment de nouveaux types de contenu inaccessible. En même temps, les solutions pour rendre ces sites plus accessible pour des personnes handicapées essaient de suivre (Borodin, Bigham, Dausch, & Ramakrishnan, 2010; Brown, Jay, Chen, & Harper, 2012).

Le web 2.0 apporte un design visuel intéressant avec une interactivité très riche, pour fournir une expérience plutôt d'un logiciel de bureau (Watanabe, Fortes, & Dias, 2012). Ce modèle dynamique est le résultat d'un nouvel ensemble de technologies, comme l'AJAX (Asynchronous JavaScript And XML Extensible Markup Language). Avec les technologies de script traditionnelles, ils permettent au concepteur web de modifier une section isolée sans forcément changer l'URL (Jay, Brown, & Harper, 2013).

Les recherches sur Interactions homme-machine, particulièrement, sur les méthodologies de travail avec les utilisateurs handicapés représentent le sujet moins abordé parmi eux. D'entre eux, les travaux sur la déficience visuelle représentent la majorité (25%), alors que les études sur les personnes avec handicaps cognitifs et physiques sont présents, chacun, dans seulement 9% (Petrie, Gallagher, & Darzentas, 2014).

Ainsi, à partir des évaluations d'accessibilité du web avec deux groupes d'utilisateurs - malvoyants et IMC (Infirmité Motrice Cérébrale) -, ce travail a pour but de mieux comprendre comment ces personnes interagissent avec des éléments caractéristiques de ce nouveau modèle d'interaction.

En plus, nous allons souligner aussi différentes formes d'accès et d'interaction et ainsi que des stratégies de navigation que ces deux groupes ont en utilisant ces sites web dynamiques. Il est dès lors possible de réaffirmer la nécessité d'inclure les utilisateurs avec différents types de handicap dans les évaluations d'accessibilité.

2 État de l'art

Les Applications Internet Riches (RIA - Rich Internet Applications) sont des pages web dynamiques qui cherchent une meilleure réactivité et des capacités d'interaction améliorées. Ils ont des éléments interactifs, combinant des technologies côté client avec des éléments de communication asynchrones pour créer et contrôler ses composants (Casteleyn, Garrig'os, & Maz'on, 2014; WebAIM, 2013).

Un widget web est une unité de contenu présent dans une page web, comme par exemple, les menus déroulants, les contrôles de glisser-déposer, les zones de texte auto-complétant, les fenêtres pop-up, etc. (Chen, Harper, Lunn, & Brown, 2013; WebAIM, 2013).

Pour accéder des contenus en ligne, autant les personnes malvoyants que les IMC peuvent avoir besoin d'utiliser technologies d'assistance ou des stratégies d'adaptation, surtout lorsque le web devient plus complexe (Pérez, Arrue, Valencia, & Moreno, 2014).

En ce qui concerne les personnes IMC, ils peuvent présenter des contractions musculaires ou des spasmes et aussi des mouvements involontaires. Ainsi, la plupart d'entre eux peuvent avoir des difficultés à utiliser la souris, en utilisant seulement le clavier ou un autre type de dispositif adapté (WebAIM, 2012).

Pour les utilisateurs aveugles, la ressource le plus utilisé par eux est le lecteur d'écran, un logiciel qui traite le contenu web, en utilisant la structure du HTML pour fournir une version audio de la page (Lunn, Harper, & Bechhofer, 2011; W3C, 2012). Cependant, l'utilisation du web avec des lecteurs d'écran peut être une expérience frustrante et plutôt difficile. Si la page n'est pas conçue avec l'accessibilité nécessaire, certains contenus ne sont pas accessibles, ce qui entrave leur accès à l'information (Borodin et al., 2010; Lunn et al., 2011).

3 Méthode

3.1 Sélection des participants

L'objectif de cette étude était de comprendre les modes d'interaction de deux différents groupes d'utilisateurs handicapés, soulignant ainsi la nécessité de la diversité des utilisateurs dans les évaluations d'accessibilité web. Pour ça, nous avons réuni dix utilisateurs, divisés en deux groupes avec profils différents. De plus, pour exclure le maximum possible de facteurs externes, tous les participants de cette étude avaient le même niveau d'expérience et de pratique avec l'Internet. Aussi, tous avaient entre 31 et 59 ans et deux d'entre eux étaient des femmes.

Le premier groupe était composé de cinq participants ayant une déficience visuelle, dont deux ont été sévèrement déficients visuelle et les trois autres étaient aveuglés. Cependant, ils ont tous utilisé la même configuration logicielle (lecteur d'écran + navigateur web).

Le deuxième groupe était composé de cinq participants IMC. En raison de la diversité des formes de manifestation de l'IMC, de problèmes (cognitives et motrices) causées par cette infirmité et de la difficulté d'organiser et de recruter des participants pour une étude comme celui-ci, les cinq participants inclus avaient, au moins, des handicaps moteurs. En ce qui concerne les technologies d'assistance utilisées par les participants, un seul utilisait une boule de commande (trackball) et un autre utilisai un correcteur orthographique. Toutes les évaluations ont été menées dans leurs propres environnements de travail/domicile, en comptant avec leurs technologies d'assistance, des ordinateurs et des configurations logicielles.

3.2 Sélection des sites web utilisés

Pour répondre à l'objectif principal de ce travail, la phase de sélection des sites et des tâches à utiliser a été structuré dans deux étapes.

La première consistait en une présélection des sites les plus consultés en France, en utilisant le site Alexa^{*}.

Puis, afin d'obtenir un échantillon représentatif de sites web dynamiques, la deuxième étape a été fondée sur la liste établie par Chen (Chen et al., 2013). Dans ce travail, Chen énumère les widgets les plus utilisés sur les sites d'aujourd'hui. Ensuite, les sites pré sélectionnés ont été analysés et sept d'entre eux ont été sélectionnés pour contenir au moins trois des neuf widgets mis en évidence par Chen.

3.3 Script des évaluations

Premièrement, les participants ont été informés des détails de la recherche, comme les objectifs et les étapes. Ensuite, les tâches à exécuter ont été présentés et ils ont été encouragés à utiliser le protocole verbal « think aloud » (Ericsson & Simon, 1993). En plus, il a été souligné que, à tout moment, ils pourraient demander une répétition orale de la tâche actuelle, renoncer à la tâche/session ou faire une pause. Le délai de toute la session a été calculée en 10 minutes pour chaque tâche. Toutefois, cette limite de temps n'a pas été utilisé.

Au cours de l'exécution des tâches, les problèmes rencontrés par les participants, ainsi que des autres possibles commentaires ont été enregistrés sur un caméscope et également aux notes supplémentaires. Après chaque site web, on leur a demandé de résumer leurs difficultés majeures et comment elles ont affecté la réalisation des tâches.

3.4 Analyse des données

Tout d'abord, les vidéos et les commentaires recueillis à partir des évaluations ont été transcrites et organisées. Dans une seconde étape, les interactions avec les web widgets présents dans les pages sélectionnées ont été analysées. Il était donc possible ainsi d'identifier les stratégies et les interactions de chaque utilisateur avec chaque élément dynamique présent.

^{*} Alexa - Actionable Analytics for the Web (http://www.alexa.com)

4 Résultats

A partir des tâches effectuées par les participants et, aussi, de la recherche de Chen (Chen et al., 2013), pour cette étude, nous nous concentrerons sur l'analyse des trois éléments les plus présents dans l'interaction des participants avec les sites sélectionnés : Auto Suggest List, Popup Content, Tabs.

Auto Suggest List

Participants IMC

Dans un peu plus de la moitié des occurrences de cet élément, les participants ont saisi l'expression désirée, ou en partie ou complètement. Ensuite, ils ont identifié et sélectionné l'option choisie dans la liste affichée, en effectuant la recherche.

Cependant, lorsque l'élément était présent mais n'a pas été utilisé, ce qui représentait près de la moitié des cas, des différentes types d'interactions ont été identifiées. La plupart du temps, le participant juste saisissait le terme désiré et exécutait la recherche ensuite, sans avoir sélectionné une suggestion fournie par l'élément. Les autres occurrences de l'ASL dans les interactions ont été divisés en deux cas: a) l'insertion d'un mot avec une erreur d'orthographe; b) l'insertion d'un terme de recherche qui ne correspondait pas à l'expression attendue pour le champ. Dans les deux cas, l'élément n'a fourni aucune suggestion à la fin de l'action des participants.

Participants Malvoyants

Dans la grande majorité des occurrences de cet élément, il n'a pas été utilisé car ces participants ne percevaient pas la présence du widget. Seulement dans deux occurrences, avec deux personnes différentes, en réalisant des tâches différentes, la liste de suggestions a été accédée. Dans le premier cas, le participant a sélectionné un terme recherché auparavant, affiché en premier dans la liste fournie par l'élément. Dans le second cas, un autre participant a accédée la liste de suggestion, mais il n'a pas compris le contenu lu par le logiciel de lecture d'écran. Par suite, il a utilisé la touche « esc » pour continuer avec les autres champs du formulaire. Dans les deux cas, l'élément a représenté une barrière dans l'interaction de ces personnes.

Popup Content

Tout d'abord, nous avons vérifié que cet élément a été utilisé à deux buts différentes et avec presque la même fréquence dans les sites web sélectionnés : 1) pour afficher le contenu et les fonctionnalités principaux du site; 2) pour afficher des informations secondaires ou des publicités.

Participants IMC

Dans les cas où l'élément a été utilisé pour l'affichage du contenu principal, aucun des participants a rencontré de grandes difficultés, en l'identifient et interagissant avec les informations affichées. Lors de l'affichage d'un contenu secondaire, les participants ont identifié l'élément, mais ils la fermaient par la suite. Cependant, dans ces derniers cas, ils ont démontré un certain stress et des difficultés à reprendre la tâche en cours et certains d'entre eux ont même arrêté l'activité.

Participants Malvoyants

De l'autre côté, dans tous les cas que le Popup a été utilisé pour afficher du contenu principal, les participants n'ont pas réalisé que le nouveau contenu a été inclus dans la page. Ainsi, non seulement ils n'ont pas réussi à accomplir leurs tâches, mais aussi ils n'avaient pas de feedback de leurs actions. De façon à douter même si elles avaient été effectuées correctement, souvent en les répétant plusieurs fois. Cependant, dans les cas des contenus secondaires, comme l'inclusion de l'élément n'a pas été remarquée par les participants, il ne représentait aucune barrière à la navigation, car le nouveau contenu a été mélangé aux informations déjà présentes sur la page.

Tabs

Participants IMC

Dans une seule occurrence de l'élément, un participant n'a pas pu identifier l'élément en question. Dans tous les autres cas où les onglets ont été utilisés pour organiser le contenu des sites sélectionnés, les participants ont arrivé à l'identifier et interagir sans difficultés. Par contre, certains d'entre eux ont eu des difficultés à différencier les sessions disponibles, sans se rendre compte du changement de contenu.

Participants Malvoyants

L'utilisation des onglets pour les participants ayant une déficience visuelle variaient en fonction de la structure de code utilisé dans chaque site : a) Lors de l'interaction avec l'élément bien structuré et identifié comme tel, les participants ont montré aucune difficulté à interagir avec le contenu disponible; b) Dans les onglets indiqués uniquement comme des liens, les participants les ont accédés, mais ils ont reçu aucun feedback que le contenu a été modifié; c) Dans un troisième cas, les onglets avaient leurs comportements définis par les événements JavaScript accessibles uniquement par le clic du souris. Donc, ils ont été interprétés par le logiciel uniquement sous forme de texte et ainsi ses contenus ont été ignorés.

5 Discussion et conclusion

Une fois toutes les évaluations et tous les données recueillies analysées, il était possible de vérifier la différence des barrières rencontrées pour profiles différentes d'utilisateurs dans le même contexte, c'est-à-dire, en réalisant les mêmes tâches, sur les mêmes sites web.

Certains problèmes d'accessibilité identifiés lors des évaluations menées, pourraient être éliminés si les sites sélectionnés suivent les directives d'accessibilité déjà existantes. La sensibilisation à l'utilisation et l'évaluation des pages en conformité au WCAG 2.0 et au WAI-ARIA est toujours une étape très importante pour créer un environnement web plus accessible.

De plus, encore avec l'objectif d'assurer l'élimination de la plupart des barrières existantes, l'inclusion des personnes handicapées dans les évaluations d'accessibilité web est essentiel. Cette étape nous permet d'observer la navigation et l'interaction de ces personnes et de recueillir, en plus, des rapports de difficultés et des barrières rencontrées.

Cependant, ce travail vise également à démontrer que les différents types de capacités d'interaction entraînent des difficultés différentes. Ainsi, il est important d'inclure dans les évaluations des personnes avec des profils différents, les niveaux de compétences, technologies d'assistance, etc. Cette plus grande diversité de la navigation nous permet de rassembler plus d'informations qui peuvent assurer une meilleure accessibilité des sites web actuelles.

Comme cet article a présenté l'état d'avancement d'une recherche en cours, des prochaines étapes sont l'inclusion des plusieurs utilisateurs dans l'étude et l'analyse complète des autres widgets web.

Ainsi, ce travail a contribué pour une meilleure compréhension des obstacles auxquels les personnes ayant une déficience visuelle et IMC sont confrontées lors de l'interaction avec des éléments dynamiques.

Ces informations seront pertinentes aussi pour discuter comment améliorer l'évaluation des pages contenant des éléments dynamiques.

Références

- Borodin, Y., Bigham, J. P., Dausch, G., & Ramakrishnan, I. V. (2010). More than Meets the Eye: A Survey of Screen-Reader Browsing Strategies. In Proceedings of the 2010 International Cross Disciplinary Conference on Web Accessibility (W4A) - W4A '10 (p. 1). New York, New York, USA: ACM Press. https://doi.org/10.1145/1805986.1806005
- Brown, A., Jay, C., Chen, A. Q., & Harper, S. (2012). The uptake of Web 2.0 technologies, and its impact on visually disabled users. Universal Access in the Information Society, 11(2), 185-199. https://doi.org/10.1007/s10209-011-0251-y
- Casteleyn, S., Garrig'os, I., & Maz'on, J.-N. (2014). Ten Years of Rich Internet Applications. ACM Transactions on the Web, 8(3), 1–46. https://doi.org/10.1145/2626369
- Chen, A. Q., Harper, S., Lunn, D., & Brown, A. (2013). Widget Identification: A High-Level Approach to Accessibility. World Wide Web, 16(1), 73-89. https://doi.org/10.1007/s11280-012-0156-6
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1993). Protocol analysis: verbal reports as data. Revised edition.
- Harper, S., & Chen, A. Q. (2012). Web accessibility guidelines. World Wide Web, 15(1), 61–88. https://doi.org/10.1007/s11280-011-0130-8
- Jay, C., Brown, A., & Harper, S. (2013). Predicting whether users view dynamic content on the world wide web. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 20(2), 1-33. https://doi.org/10.1145/2463579.2463580
- Lunn, D., Harper, S., & Bechhofer, S. (2011). Identifying Behavioral Strategies of Visually Impaired Users to Improve Access to Web Content. ACM Transactions on Accessible Computing, 3(4), 1–35. https://doi.org/10.1145/1952388.1952390
- Pérez, J. E., Arrue, M., Valencia, X., & Moreno, L. (2014). Exploratory study of web navigation strategies for users with physical disabilities. In Proceedings of the 11th Web for All Conference '14 (pp. 1-4). New York, New York, USA: ACM Press. on - W4A https://doi.org/10.1145/2596695.2596715
- Petrie, H., Gallagher, B., & Darzentas, J. S. (2014). A Critical Review of Eight Years of Research on Technologies for Disabled and Older People (pp. 260-266). https://doi.org/10.1007/978-3-319-08599-9 40
- W3C, W. A. I. (WAI). (2012). Diversity in Web Use How People with Disabilities Use the Web. Retrieved 14 February 2017, from https://www.w3.org/WAI/intro/people-use-web/browsing
- Watanabe, W. M., Fortes, R. P. M., & Dias, A. L. (2012). Using acceptance tests to validate accessibility requirements in RIA. In Proceedings of the International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility - W4A '12 (p. 1). New York, New York, USA: ACM Press. https://doi.org/10.1145/2207016.2207022
- WebAIM. (2012). Motor Disabilities Types of Motor Disabilities. Retrieved 4 January 2016, from http://webaim.org/articles/motor/motordisabilities
- WebAIM. (2013). Accessibility of Rich Internet Applications. Retrieved 14 February 2017, from http://webaim.org/techniques/aria/

Implant Cochléaire : Codage et Interaction de Voisinage entre les Electrodes

P.A. Cucis¹, C. Berger-Vachon^{1,2,3}, E. Truy^{1,2}, S. Gallego^{1,4}

¹Université Claude-Bernard Lyon1, 43 bd du 11 Novembre, 69 622 Villeurbanne-Cedex

²Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon, (CRNL), INSERM U1028, 95 bd Pinel 69675 Bron

³IFSTTAR, 25 Avenue François Mitterrand, 69 500 Bron

⁴Laboratoire de Neurosciences Intégratives et Adaptative, (LNIA), UMR 7260, 3 place Victor Hugo

13331 Marseille

Cucis.pa@gmail.com

Résumé

Les stratégies de codage de l'implant cochléaire font toujours l'objet de travaux pour apporter au patient le meilleur service possible notamment dans l'optique d'améliorer la compréhension de la parole dans le bruit. Deux grandes technologies de codages existent actuellement dans les implants cochléaires, la sélection de canaux fréquentiels sur la totalité des canaux disponibles (stratégies type n-of-m) et l'utilisation de l'ensemble des canaux avec un nombre plus restreint d'électrodes (stratégies type Continuous Interleaved Sampling [CIS]). Dans un premier travail, nous avions comparé la reconnaissance de la parole dans le bruit pour un groupe (n = 45) de patients implantés cochléaires (IC) utilisant des stratégies de codages différentes. De plus, en simulant le port d'un implant cochléaire, un pool (n = 20) de sujets normoentendants (NE) avait été testé comme groupe témoin. Les résultats ont montré que les deux technologies conduisent à des résultats proches. En examinant les résultats de plus près, on remarque que les stratégies type CIS conduisent à des pourcentages d'intelligibilité supérieurs pour des rapports signal sur bruit (RSB) relativement faibles (de 0 à 6dB) et que pour des RSB plus élevés (supérieurs à 6dB) les stratégies n-of-m prennent le dessus. Ces résultats nous amènent à nous questionner sur l'influence du nombre d'électrodes lorsque le niveau de bruit varie. On peut penser que l'interaction interélectrode joue un rôle lorsque le nombre d'électrode augmente et qu'il peut être utile de prendre en compte ces interactions dans le processus de réglage de l'implant cochléaire. Nos travaux préliminaires ont abordé l'aspect des stratégies de codage dans le bruit et on reliera dans une prochaine étude la mesure de l'interaction avec la compréhension du langage grâce à l'établissement de courbes d'accords psychoacoustiques notamment par le calcul du Q10.

1 Introduction

L'implant cochléaire a pris sa place dans les moyens de réhabilitation classiques de la surdité. L'implant cochléaire permet de réhabiliter les surdités profondes et environ 30 000 personnes en bénéficient par an dans le monde, dont près de 1 500 en France.

Néanmoins, malgré cette multitude de travaux et les réunions de consensus, le choix de la stratégie de codage reste encore une question ouverte. La question de l'amélioration de l'intelligibilité de la parole dans le bruit revient de façon récurrente (Brown et al. 2010 ; Fetterman et al., 2001).

Nous avons déjà étudié l'influence de la stratégie de codage de l'implant sur l'intelligibilité de la parole dans le bruit avec des IC mais aussi avec des sujets NE et nous avons présenté ces résultats lors du congrès Handicap 2016 (Cucis et al., 2016). Cette étude avait été réalisée au sein du centre de réglage des implants cochléaires (CRIC) de l'hôpital Edouard Herriot et nous avions comparé les scores d'intelligibilité obtenus avec les différentes stratégies de codage. Les sujets NE ont été testés via un vocodeur simulant les stratégies type CIS et n-of-m.

Depuis, nous avons eu une opportunité de continuer ce travail avec la collaboration de la société Oticon Medical/Neurelec dans le cadre d'une convention industrielle de formation par la recherche (CIFRE). Afin d'aller plus loin nous nous demandons si le nombre d'électrodes sélectionnées dans les stratégies n-of-m ainsi que la résolution spectrale apportée par l'ensemble des électrodes dans les stratégies type CIS jouent un rôle dans ces résultats.

Le nombre de canaux fait partie des paramètres qui conditionnent la capacité de l'implanté à comprendre la parole. Pour une compréhension optimisée, il a été observé que ce paramètre doit être différent suivant les conditions d'écoute, dans le silence ou dans le bruit. On sait qu'un plus grand nombre d'électrodes est nécessaire en milieu bruité pour optimiser la compréhension de la parole. Mais, on atteint un plateau de performance à une dizaine d'électrodes en moyenne (Friesen et al., 2001; Loizou, et al., 1999; Seldran et al., 2014).

Ce plateau de performances est multifactoriel mais un phénomène a retenu notre attention : les interactions inter-canaux (Boëx et al., 2003; Shannon, 1983). En effet, les champs électriques émis stimulent un nombre plus ou moins grand de fibres nerveuses pouvant créer un recoupement des « canaux neuronaux ». Suivant l'amplitude de ce recoupement, le traitement et l'intégration des signaux sonores s'en trouvent dégradés (Crew et al., 2012 ; Guevara et al., 2016 ; Throckmorton et al., 1999).

L'organisation de l'article est la suivante; après l'introduction, la section matériel et méthodes indique les principes de l'implant cochléaire et sa simulation. On présente aussi les populations et le matériel acoustique impliqués dans l'étude, ainsi que les méthodes d'analyse statistique. Les résultats sont indiqués dans la troisième partie, la quatrième discute les conclusions des travaux précédents et présente les protocoles que nous mettons en place pour l'étude suivante. Enfin, la conclusion résume les différents points mis en évidence.

2 Matériel et Méthodes

2.1 Codage et simulation de l'implant

On rappelle ici les grands principes de l'implant cochléaire cependant on ne reprendra pas en détail le codage du signal. En pratique l'implant est composé de deux blocs (figure 1), un bloc externe (processeur) qui réceptionne le message acoustique et l'analyse pour le décomposer en bandes fréquentielles (les canaux), ainsi que d'un bloc interne (partie implantée) qui reçoit les bandes de fréquence définies par le processeur et qui délivre l'énergie correspondante sur des électrodes distribuées le long de la cochlée. Le signal passe du processeur à l'implant à travers la peau par une liaison radiofréquence (Loizou, 1998).

Au niveau du bloc externe, le signal du microphone subit une série de prétraitements liés à la physiologie de l'oreille puis il est décomposé en raies spectrales. Les raies spectrales sont regroupées selon des canaux répartis selon une échelle logarithmique (échelle Bark dans notre travail). Deux grandes catégories de codage différentes existent pour l'IC, les stratégies type CIS et celles de type nof-m. Les n-of-m délivrent à la cochlée les « n » canaux fréquentiels les plus énergétiques sur les « m » disponibles alors que les stratégies type CIS utilisent la totalité des bandes fréquentielles sans sélection mais avec un nombre d'électrodes plus faible, ce qui correspond au cas « n = m ».

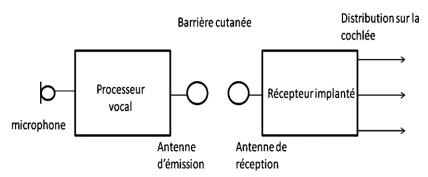


Figure 1: Représentation schématique d'un implant cochléaire

Pour nos études en simulation avec des sujets NE nous utilisons le principe du vocodeur à canaux pour reproduire le codage d'un implant cochléaire (Seldran et al., 2014). Dans le cas type CIS, on fait la somme de la totalité des canaux en sortie alors que pour n-of-m on utilise les « n » bandes fréquentielles les plus énergétiques. Le traitement du signal sonore effectué par le simulateur a été détaillé dans le papier présenté au congrès Handicap 2016 (Cucis et al., 2016). La figure 2 présente le diagramme correspondant à la simulation du codage n-of-m. Le signal passe par un filtre de préemphase passe-haut de fréquence de coupure 1.2 kHz pour égaliser les énergies dans le spectre à long terme de la parole. Ensuite on effectue une transformée de Fourier rapide (TFR) et on crée 20 bandes fréquentielles. L'énergie de chaque bande est calculée puis les plus énergétiques sont sélectionnées. Pour finir on module l'amplitude d'un bruit de bande étroite avec l'énergie du canal, sauf dans les deux premiers canaux où l'on utilise des sons purs.

2.2 Population d'étude

L'étude qui sert de base à notre travail avait été agréée par le Comité d'Ethique Sud-Est 2 (décision du 27 août 2014) sous le pilotage des HCL (Hospices Civils de Lyon).

Au total 45 sujets porteurs d'un implant cochléaire avaient participé à ce travail. Leur âge était compris entre 18 et 60 ans (moyenne 37 ans). Dix-neuf sujets utilisaient des stratégies type CIS (13 Med-El et 6 Advanced Bionics) et 26 utilisaient des stratégies n-of-m (13 Cochlear et 13 Neurelec [Oticon Medical depuis 2013]). Les implants de la marque Med-El utilisent en général 12 canaux, ceux de Advanced Bionics environ 16 canaux; pour Oticon Medical/Neurelec on trouve généralement 20 canaux avec une sélection des 8 plus énergétiques et chez Cochlear on retient aussi 8 canaux mais cette fois sur un total de 22.

Les patients qui avaient participé à cette étude l'avaient fait lors de leur suivi au CRIC de l'hôpital Edouard-Herriot de Lyon; ce suivi comportait un réglage, un examen orthophonique et un contrôle clinique. Nos tests ont été effectués avant le passage devant le régleur du CRIC.

Vingt sujets NE avaient participé à cette étude. Ils étaient âgés de 18 à 33 ans (moyenne 25 ans). Les seuils auditifs avaient été vérifiés avant l'étude et ils étaient inférieurs à 20dB HL pour toutes les fréquences comprises entre 250 et 8000 Hz, par demi-octave. Selon le Bureau International d'Audiophonologie (BIAP) les sujets sont considérés comme ayant une audition normale. Les tests ont été précédés par un examen otologique pour éliminer les antécédents ou troubles ORL incompatibles avec le test.

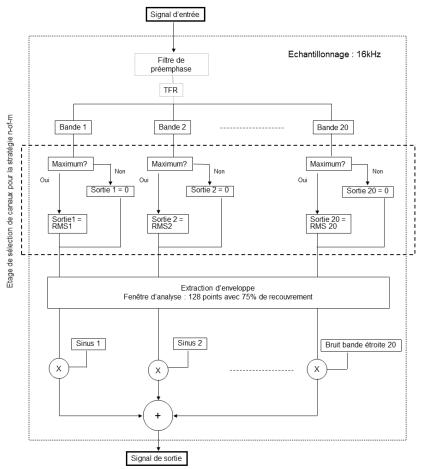


Figure 2: Simulation du codage de l'implant cochléaire type n-of-m. Schéma inspiré par Seldran et al. (2014)

2.3 Matériel acoustique

Nous avons retenu les listes de Jean-Etienne Fournier pour effectuer les tests de compréhension de la parole. Elles sont composées de mots dissyllabiques prononcées par une voix masculine et constituent un test de référence en audiologie. Il existe 40 listes différentes et chaque liste est constituée de 10 mots (par exemple : « le bouchon »). L'unité de reconnaissance que nous avions retenue est la syllabe, ce qui conduit à une précision de 5% par liste.

Nous avons utilisé un bruit standard de type "cocktail-party" constitué par les voix entremêlées de 8 locuteurs francophones, 4 hommes et 4 femmes.

Le signal proposé à l'entrée a été un mélange de bruit et de signal vocal. Ce mélange a été effectué par un audiomètre Madsen Orbiter 922 permettant de bien ajuster les rapports signal sur bruit (RSB).

Dans le cas de patients implantés, une seule oreille a été concernée. Lorsque le patient portait deux implants, seule la meilleure oreille était retenue. Pour les sujets NE, le signal a été présenté avec un casque sur l'oreille droite car elle est principalement reliée aux aires auditives de l'hémisphère gauche du cerveau, spécialisés dans le traitement de la parole. Les listes étaient présentées à 60 dB SPL et mixées avec le bruit, le niveau sonore ne dépassait pas 65 dB SPL. Ceci est nettement inférieur au seuil réglementaire défini pour les expositions aux bruits professionnels, ce qui était une des conditions du CPP.

Nous avons testé la reconnaissance des syllabes pour les sujets implantés à -3 dB, 0 dB, 3 dB, 6 dB, 9 dB, 12 dB, 15dB et 18 dB de RSB et chez les sujets NE: -3 dB, 0 dB, 3 dB, 6 dB, 9 dB. Chaque session a été précédée par un petit entraînement pour habituer les sujets aux consignes. Pour les sujets NE, la présentation des RSB a été randomisée alors que pour les IC les RSB ont été présentés par ordre décroissant.

2.4 Exploitation mathématique des données

Les scores d'intelligibilité recueillis étaient le nombre de syllabes correctement répétées exprimés sous forme de pourcentage. Pour l'analyse statistique des données nous avons utilisé des modèles mixtes. Dans le cas des IC nous avons fait une ANOVA par l'intermédiaire d'un modèle mixte à deux facteurs [technologie de codage (facteur non répété) x RSB (facteur répété)]. Chez les sujets NE nous avions utilisé une ANOVA à mesures entièrement répétées car tous les participants ont été confrontés aux deux stratégies de codages.

Résultats

Sujets implantés cochléaires

Les résultats de reconnaissance de la parole en pourcentage sont rappelés sur la figure 3. Il est important de préciser que du fait de l'importante diversité des étiologies et des profils de patients, la population d'IC étudiée présentait une grande disparité de résultats : les performances de certains sujets chutaient rapidement à chaque diminution du RSB alors que d'autre présentaient de faibles baisses de performances. Aussi la mise en évidence statistique de différence entre les stratégies est rendue difficile par cette variabilité interindividuelle.

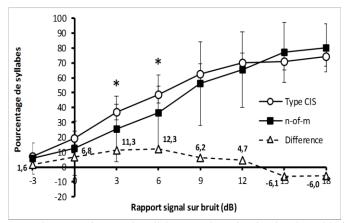


Figure 3: Pourcentages de reconnaissance de syllabes pour les sujets implantés cochléaires en simulation pour les deux technologies de codage en fonction du rapport signal sur bruit.

L'ANOVA a indiqué un effet significatif du RSB [F (1;345) = 1311; p < 10-4] mais pas de la technologie de codage [F (1;344) = 0.52; p = 0.47]. Néanmoins, un effet significatif de l'interaction des deux facteurs a été mis en évidence [F (1;345) = 12402; p < 10-4]. Pour les RSB de -3 à 12 dB l'intelligibilité était meilleure pour les sujets utilisant une stratégie type CIS que pour les sujets ayant des stratégies n-of-m. Cependant, on observe une inversion de cette tendance pour les forts RSB, 15 et 18 dB. On obtient aussi par le modèle mixte une différence significative d'intelligibilité pour les RSB 3 et 6 dB avec respectivement p = 0,008 et p = 0,006.

3.2 Sujets normoentendants

Le pourcentage de reconnaissance des syllabes pour les NE sont représentés sur la figure 4.

L'ANOVA a montré un effet significatif du RSB et aussi de la technologie de codage mais elle n'a pas dégagé d'interaction significative entre les deux facteurs. Le modèle mixte met en évidence une différence significative dans l'intelligibilité obtenues avec les stratégies type CIS et n-of-m pour les RSB 0 et 3 dB avec respectivement p = 0.046 et p = 0.005.

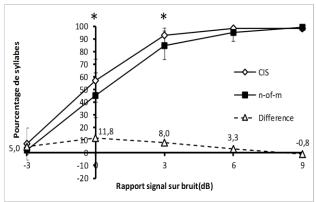


Figure 4: Pourcentages de reconnaissance de syllabes pour les sujets normoentendants en simulation pour les deux technologies de codage en fonction du rapport signal plus bruit.

4 Discussion

Les courbes obtenues avec les patients porteurs d'un implant cochléaire montrent que, dans la gamme RSB -3, 12dB les stratégies type CIS conduisent à des résultats supérieurs à ceux obtenus avec les stratégies n-of-m, alors que pour les RSB forts (15 et 18dB) on observe une inversion de la courbe à l'avantage des stratégies n-of-m. En ce qui concerne la simulation avec les sujets NE, la stratégie type CIS conduit aussi à des résultats supérieurs, sauf dans la condition 9dB.

Il a été montré qu'un nombre plus important de canaux est nécessaire dans le bruit pour obtenir des performances comparables à celles dans le silence ; il semble alors logique que les stratégies n-ofm, qui utilisent environ 8 canaux sur la vingtaine disponible, soient moins performantes dans le bruit que les stratégies type CIS qui utilisent en moyenne 14 canaux. A partir d'une dizaine de canaux, les performances cessent de croitre et atteignent un plateau (Faulkner, 2001; Shannon et al., 2004).

La limitation des performances lorsqu'on augmente le nombre de canaux est multifactorielle mais un phénomène retient notre attention : les interactions inter-canaux (Boëx et al., 2003 ; Verschuur, 2009). En effet, les champs électriques émis stimulent un nombre plus ou moins grand de fibres nerveuses pouvant créer des recoupements. Suivant l'importance de ce recoupement, le traitement et l'intégration des signaux sonores s'en trouvent dégradés (Crew et al., 2012; Guevara et al., 2016; Throckmorton et al., 1999)-[11]. Ce phénomène pourrait expliquer l'inversion de la courbe à l'avantage des stratégies n-of-m lorsque le RSB augmente. La sélection de maxima limite alors les interactions et améliore l'intelligibilité dans le silence.

Dans l'étude que nous débutons, le but sera de quantifier les interactions dans le réglage des implants cochléaires en fonction des stratégies de codage. Dans ce travail nous mettrons en place une méthode de mesure des interactions afin que celles-ci puissent être prises en compte pour optimiser la compréhension de la parole dans la vie de tous les jours particulièrement dans le bruit.

Pour commencer il faudra préciser la relation entre la compréhension de la parole des sujets implantés et le phénomène d'interaction. On déterminera avec des sujets implantés, des courbes d'accord psychoacoustiques grâce à la méthode du masquage. Cette méthode présente l'avantage d'être facilement et rapidement mise en œuvre (Nelson et al., 2011; Nelson et al., 2008; Moore, 1978). Afin d'évaluer la sélectivité fréquentielle et l'indépendance des électrodes pour définir des profils d'interaction chez les implantés nous utiliserons le Q10 des courbes d'accord : il correspond au rapport entre la fréquence testée et l'écart fréquentiel entre les deux fréquences, émises 10 dB audessus de la fréquence test, qui masquent cette dernière (figure 5). Plus le Q10 est important plus la stimulation est étendue avec un risque d'interaction entre électrode accru. On testera la compréhension de nos sujets dans le silence et dans le bruit afin d'étudier les relations pouvant exister entre le Q10 et les performances en audiométrie vocale.

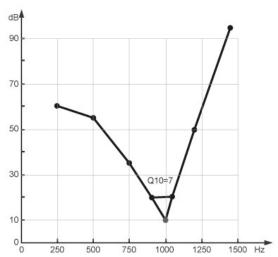


Figure 5: Courbe d'accord psychoacoustique avec la mise en évidence du Q10. (Graphique tiré de www.cochlea.eu).

On reproduira les profils d'interaction de voisinage avec le simulateur d'implant cochléaire (vocodeur) selon les résultats observés précédemment avec les implantés. Pour simuler le phénomène d'interaction on effectuera les reconstitutions de spectre en construisant l'énergie d'un canal à partir de son énergie propre à laquelle on ajoutera l'énergie des canaux voisins pondérée par l'interaction de voisinage (plus la contribution des canaux voisins sera forte, plus l'interaction sera élevée) (Crew et al., 2012; Seldran al., 2010: Dorman et 1998; Cochlear Implant Simulation - ver 2.0¹).

Les tests en simulation avec les sujets NE permettront d'évaluer l'influence du nombre de maxima sur la compréhension de la parole dans le silence et dans le bruit en prenant en compte les différents profils d'interaction.

Disponible [En ligne]. sur: http://www.ugr.es/~atv/web_ci_SIM/es/ci_sim.htm. [Consulté le: 16-déc-2015].

Un retour vers les implantés suivra cette étape afin de tester les meilleures stratégies observées lors de la phase précédente en simulation. Nous utiliserons le nombre de maxima qui a été optimal pour chaque profil de patient afin d'évaluer leur effet sur l'intelligibilité dans le silence et dans le bruit.

5 Conclusion

Le réglage et la stratégie optimale pour améliorer la compréhension de la parole dans le bruit reste une question ouverte. Les deux grandes technologies de codages actuelles, type CIS et n-of-m, ne semblent pas avoir le même comportement face aux environnements bruyants lorsque le RSB varie. Dans un premier travail nous avions observé la reconnaissance de la parole dans le bruit pour deux groupes de sujets implantés cochléaires utilisant respectivement un type de codage. Les stratégies type CIS semblaient plus performantes dans le bruit et les n-of-m avaient un avantage pour les niveaux de bruit faible. De plus, en simulant le port d'un implant cochléaire avec des sujets normoentendants nous avions confirmé ces résultats. Cette expérience indique qu'un nombre supérieur de canaux permettrait une meilleure compréhension de la parole dans le bruit.

Il est maintenant intéressant d'étudier pour les stratégies n-of-m l'influence du nombre de canaux sélectionnés lorsque le niveau de bruit varie tout en restant vigilant quant au risque d'interaction interélectrode qui augmente avec le nombre de canaux. Il est possible d'éclaircir ces points en prenant en compte les interactions afin d'optimiser le réglage personnalisé des implants cochléaires et ainsi obtenir de meilleurs résultats dans le bruit.

6 Remerciements

Les auteurs remercient les personnes et les structures qui leur permettent de réaliser ce travail : les patients et les témoins qui ont participé aux expériences, le Professeur Hung Thaï-Van et le Docteur Evelyne Veuillet, le personnel du Centre de Réglage des Implants Cochléaires (CRIC) de Lyon, M. Fabien Seldran pour ses conseils avisés, la société Oticon Medical (Docteur Dan Gnansia et Docteur Marine Ardoint) pour le support apporté à ce travail.

Références

Brown C. A., Bacon, S. P. (2010). Fundamental frequency and speech intelligibility in background noise, *Hear. Res.*, vol. 266, n° 1–2, p. 52-59, juill. 2010.

Fetterman B. L., Domico, E. H. (2002). Speech Recognition in Background Noise of Cochlear Implant Patients, Otolaryngol. -- Head Neck Surg., vol. 126, no 3, p. 257-263, mars 2002.

Cucis, P.-A., Berger-Vachon, C., Truy, E., Thai-Van, H., Millioz, F., Gallego, S. (2016). Influence de la stratégie de codage de l'implant cochléaire sur la reconnaissance des syllabes en milieu bruité, Handicap 2016 Rech. Au Serv. Qual. Vie Auton., p. 39-44.

Friesen, L. M., Shannon, R. V., Baskent, D., Wang, X. (2001). Speech recognition in noise as a function of the number of spectral channels: comparison of acoustic hearing and cochlear implants », *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 110, n° 2, p. 1150-1163, août 2001.

Loizou, P. C., Dorman, M., Tu, Z. (1999). On the number of channels needed to understand speech, J. Acoust. Soc. Am., vol. 106, no 4, p. 2097-2103, oct. 1999.

Seldran, F., Gallego, S., Thai-Van, H., Berger-Vachon, C. (2014). Influence of coding strategies in electric-acoustic hearing: A simulation dedicated to EAS cochlear implant, in the presence of noise, Appl. Acoust., vol. 76, p. 300-309, févr. 2014.

Boëx, C., De Balthasar, C., Kós, M.-I., Pelizzone, M. (2003). Electrical field interactions in different cochlear implant systems, J. Acoust. Soc. Am., vol. 114, nº 4 Pt 1, p. 2049-2057, oct. 2003.

Shannon, R. V. (1983). Multichannel electrical stimulation of the auditory nerve in man. II. Channel interaction », *Hear. Res.*, vol. 12, n° 1, p. 1-16, oct. 1983.

Crew, J. D., Galvin, J. J., Fu, Q.-J. (2012). Channel interaction limits melodic pitch perception in simulated cochlear implants, J. Acoust. Soc. Am., vol. 132, n° 5, p. EL429-435, nov. 2012.

Guevara, N., Hoen, M., Truy, E., Gallego, S. (2016). A Cochlear Implant Performance Prognostic Test Based on Electrical Field Interactions Evaluated by eABR (Electrical Auditory Brainstem Responses), *PLOS ONE*, vol. 11, n° 5, p. e0155008, mai 2016.

Throckmorton, C. S., Collins, L. M. (1999). Investigation of the effects of temporal and spatial interactions on speech-recognition skills in cochlear-implant subjects, J. Acoust. Soc. Am., vol. 105, no 2 Pt 1, p. 861-873, févr. 1999.

Loizou, P. C. (1998). Mimicking the human ear, *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 15, n^o 5, p. 101-130, sept. 1998.

Faulkner, A., Rosen, S., Wilkinson, L. (2001). Effects of the number of channels and speech-tonoise ratio on rate of connected discourse tracking through a simulated cochlear implant speech processor, *Ear Hear.*, vol. 22, n° 5, p. 431-438, oct. 2001.

Shannon, R. V., Fu, Q.-J., Galvin, J. (2004). The number of spectral channels required for speech recognition depends on the difficulty of the listening situation, Acta Oto-Laryngol. Suppl., nº 552, p. 50-54, mai 2004.

Verschuur, C. (2009). Modeling the effect of channel number and interaction on consonant recognition in a cochlear implant peak-picking strategy, J. Acoust. Soc. Am., vol. 125, n° 3, p. 1723-1736, mars 2009.

Nelson, D. A., Kreft, H. A., Anderson, E. S., Donaldson, G. S. (2011). Spatial tuning curves from apical, middle, and basal electrodes in cochlear implant users, J. Acoust. Soc. Am., vol. 129, n^o 6, p. 3916-3933, juin 2011.

Nelson, D. A., Donaldson, G. S., Kreft, H. (2008). Forward-masked spatial tuning curves in cochlear implant users, J. Acoust. Soc. Am., vol. 123, n° 3, p. 1522-1543, mars 2008.

Moore, B. C. (1978). Psychophysical tuning curves measured in simultaneous and forward masking, J. Acoust. Soc. Am., vol. 63, no 2, p. 524-532, févr. 1978.

Seldran F., et al. (2010). Simulation of an EAS Implant with a Hybrid Vocoder, Cochlear *Implants Int.*, vol. 11, n° sup1, p. 125-129, juin 2010.

Dorman, M. F., Loizou, P. C., Fitzke, J., Tu, Z. (1998). The recognition of sentences in noise by normal-hearing listeners using simulations of cochlear-implant signal processors with 6–20 channels, J. Acoust. Soc. Am., vol. 104, nº 6, p. 3583-3585, déc. 1998.

Implantation des nouvelles méthodes et techniques dans l'apprentissage des élèves sourds et malentendants

Nicoleta Petroiu et Serge Portalier ¹

Laboratoire Parcours Santé Systémique (P2S) - EA 4129, Université Lyon 2, France nicoleta.petroiu@univ-lyon2.fr

Résumé

Cette recherche propose d'étudier et de présenter des supports susceptibles d'améliorer le processus d'apprentissage des personnes malentendantes et sourdes par la médiation de nouveaux outils comme les tablettes tactiles. La question est de savoir si l'introduction de ces nouveaux outils, pourrait permettre la création de didacticiels adaptés aux spécificités cognitives des enfants sourds.

Nous avons créé un logiciel éducatif, *Digisthésia*, qui a été conçu et adapté aux besoins des élèves sourds et malentendants. Le but de cet outil était de développer et d'améliorer 4 des principales potentialités cognitives : l'attention, la mémoire, la vitesse de traitement et la résolution de problèmes.

1 Introduction générale

De nombreuses recherches ont contribué à l'amélioration de la pédagogie auprès des enfants sourds (Bailleul et al., 2009 ; le SCEREN, 2010 ; Louis et al., 2006). Considérant le nombre important aujourd'hui de tels élèves scolarisés en éducation ordinaire, une question se pose quant à l'adaptation de la pédagogie à leurs besoins spécifiques.

Un des objectifs de cette recherche est de mieux comprendre les processus d'apprentissage des élèves déficients auditifs et de donner des pistes pour une amélioration de leur intégration et de leur qualité de vie. Plus précisément, l'objectif de cette recherche est de trouver des supports susceptibles d'améliorer le processus d'apprentissage des personnes malentendantes et sourdes par la médiation de nouveaux outils comme les tablettes tactiles. La question est de savoir si l'introduction de ces nouveaux outils, déjà largement utilisés par les enfants entendants, ne pourrait pas permettre d'introduire des didacticiels adaptés aux spécificités cognitives des enfants sourds.

¹ Pr. Serge Portalier est Professeur Emérite, Université Lyon 2, Expert en Psychologie du Handicap, membre du Comité Scientifique de la FISAF (Fédération nationale pour l'Insertion des personnes Sourdes et des personnes Aveugles en France).

Organisme de soutien : SSEFIS (Services de Soutien à l'Education Familiale et à l'Inclusion Scolaire) Recteur Louis, Lyon

Notre but dans cette étude était de créer de la valeur ajoutée dans le cadre d'apprentissages actuels, à travers de techniques innovantes. Il s'agirait aussi, dans le cadre d'une pédagogique inclusive, de mieux sédimenter les notions apprises en classe. Comme nous le savons déjà, l'éducation inclusive est fondée sur le droit de tous à une éducation de qualité qui réponde aux besoins d'apprentissage essentiels et enrichisse l'existence des apprenants.

Les tablettes tactiles ont fait leur apparition récemment dans l'éducation. L'utilisation des technologies innovantes est intéressante en pédagogie car il s'agit d'instruments de travail à forte intuitivité et dont l'utilisation est ludique. Il existe plusieurs recherches récentes (Fernandez et al., 2013; Hahn et Bussell, 2012; Huber, 2012; Kinash et al., 2013; McClanahan et al., 2012; Murray, 2011; Wainwright, 2012) qui ont montré les avantages concernant l'usage des tablettes tactiles. Par exemple, plusieurs travaux (Bétrancourt et Bozelle, 2012 ; Houdé, Dehaene, 2013; Lachapelle-Bégin, 2012) ont pointé que l'ergonomie simplifiée de la tablette et aussi la possibilité de manipuler directement avec le doigt ont une influence positive sur le développement émotionnel et cognitif des élèves.

Dans ce contexte du numérique, nous avons tenté de trouver une solution pour faire progresser les personnes déficientes auditives par rapport à leurs performances à l'école, mais aussi dans leur vie quotidienne. Notre solution a été la conception et la validation d'une interface numérique de perception dédiée aux personnes sourdes et malentendantes. Plus précisément, nous sommes partis de l'idée que via le canal digital et avec des interactions tactiles, on pourrait palier à une manque sensorielle ou améliorer les capacités cognitives déjà existantes d'un utilisateur.

Notre supposition était que les nouvelles technologies informatiques et les tablettes tactiles influenceraient positivement le processus d'apprentissage des enfants sourds et malentendants.

Nous avons créé avec nos partenaires de recherche, l'entreprise spécialisée dans les applications mobiles iNovaction Services, un logiciel adapté pour les élèves sourds : Digisthésia. Ce logiciel a le but de tester et d'améliorer 4 des principales potentialités cognitives : l'attention, la mémoire, la vitesse de traitement de l'information et la résolution des problèmes.

Approche méthodologique

2.1 Participants

Notre protocole a mobilisé 80 élèves de 7 collèges de Lyon et de la périphérie lyonnaise : 40 élèves avec différents degrés de déficience auditive, des sujets implantés et appareillés (20 participants ont utilisé le logiciel éducatif *Digisthésia* et 20 personnes ont fait partie du groupe de contrôle) ainsi que 40 élèves sans déficiences auditives (20 participants qui ont utilisé notre logiciel éducatif sur tablette tactile et 20 élèves ont fait partie du groupe témoin).

2.2 Procédure

Nous avons utilisé une méthodologie classique pour la validation d'un logiciel éducatif. Plus précisément, notre recherche s'est développée en trois étapes : une première étape de pré-test, une deuxième étape de test via les jeux Digisthésia et une dernière étape de post-test.

Avant de commencer notre expérimentation, nous avons testé les sujets afin de voir leur niveau actuel du fonctionnement cognitif. Plus précisément, nous leurs avons fait passer l'échelle de l'intelligence non-verbale de Wechsler et Naglieri (2009). Nous avons utilisé la version longue de l'échelle, la forme destinée aux sujets de 8 à 21 ans 11 mois qui contient les 4 subtests : « Matrices », « Code », « Mémoire spatiale » et « Arrangement d'images ». Il nous semble important de préciser que cette batterie a été traduite et validée en langue française et étalonnée sur la population française.

Après une période d'observation des enfants sourds et malentendants et de définition précise de leurs besoins, nous avons créé un environnement virtuel - le logiciel *Digisthésia* sur tablette tactile, contenant plusieurs jeux éducatifs.

Après la création de l'outil, un pré-test a été réalisé avec les élèves sourds et malentendants. Cette étape a permis d'affiner la réalisation du didacticiel, en relation étroite avec l'équipe pédagogique qui les accompagnait. Plus précisément, dans la première version du logiciel nous avions prévu 6 jeux: les 4 jeux éducatifs « Chasse au trésor », « Débarquement », « Piège de la cascade », « Puzzle » et encore 2 supplémentaires. Nous avons malheureusement dû renoncer à 2 d'entre eux car suite aux observations et au recueil des besoins des sujets, les jeux écartés ne correspondaient pas à notre typologie d'utilisateurs sourds ou malentendants.

Après avoir construit l'outil et fini l'adaptation du didacticiel *Digisthésia* par rapport aux retours des sujets, nous sommes retournés dans les établissements scolaires à Lyon et à côte de Lyon pour tester l'outil auprès des élèves. Ensuite, les élèves ont pu, pendant 3 mois, faire des séances de jeu sur l'outil (surtout dans des périodes de temps libre, au domicile). Nous avons recueilli et analysé finement leurs erreurs mais aussi l'originalité de leurs stratégies.

Comme conçu, l'outil lui a permis à chaque sujet de progresser à son rythme et atteindre des différents niveaux de maîtrise des jeux : débutant, intermédiaire et expert. Pendant les séances, nous avions accès à l'activité de l'élève grâce aux traces informatiques et au suivi à distance. Nous pouvions voir quels étaient les jeux préférés des participants, la fréquence des séances de jeu, etc.

Après cette phase de test, nous avons repris l'évaluation initiale, le WISC non-verbal. L'objectif était de savoir si le sujet a progressé et en quoi le didacticiel a permis (ou non), cette progression.

3 Choix et conception de Digisthésia

La principale problématique des outils pour utilisateurs sourds est la prise en main. Afin d'éviter l'encadrement/formation à l'usage, l'outil doit être intuitif, mais non pas trop simple, voire trivial, car cela pourrait engendrer un refus de l'usage. En conséquence, l'interface a été conçue pour être adaptée aux <u>réelles capacités</u> des élèves sourds et malentendants.

A part l'interface, il fallait aussi mettre en relation le fonctionnement de *Digisthésia* avec le sujet de la thèse. L'objectif des jeux ludo-éducatifs était de mesurer et entraîner des caractéristiques cognitives comme l'attention, la vitesse de traitement, la mémoire spatiale ainsi que la résolution de problèmes et la flexibilité cognitive. Une deuxième exigence a donc été que le degré de difficulté des jeux soit croissant par rapport aux performances du sujet. Par conséquent, le sujet est amené progressivement vers des raisonnements de plus en plus complexes par étapes successives. La construction progressive des jeux ludo-éducatifs permettrait donc une évolution personnalisée des performances du sujet.

En plus des deux exigences principales très générales déjà exprimées, nous avons pu indiquer d'autres fonctionnalités ou besoins incontournables plus précis comme :

Le suivi : nous devons suivre l'évolution de l'élève facilement et à distance, sans avoir à déranger le sujet dans son environnement. Nous devons avoir accès aux résultats des jeux éducatifs et aux détails des différentes séances de jeu (ex. les temps de réaction, niveau de la partie, etc.).

Le traçage : afin de bénéficier pleinement de l'expérimentation, l'outil doit historiser tous les détails possibles sur son usage par les sujets. Cela nous permettrait de reconstruire le parcours complet du sujet dans l'outil, ainsi que la façon exacte dont il s'est comporté pendant les séances de jeu. Ces données peuvent être partagées en deux catégories :

 Générales : les paramètres portant sur le contexte de la séance de jeu (date et heure de la séance, jeux choisis, niveau maximum obtenu pour le jeu, score maximum, etc.) Contextuelles: pour le jeu choisi, il faut historiser toutes les manipulations du sujet, notamment : la durée de la partie, le niveau de difficulté, le temps de réflexion pour chaque tour et essai, les choix faits et la correctitude de chaque essai.

La personnalisation : en principe, le contenu des différents jeux est chargé sur les tablettes auparavant et il est le même pour tous les sujets. Le nombre de parties différentes qu'un sujet peut jouer est donc limité. Afin d'éviter la répétitivité et l'ennui pendant les séances de jeu, ces parties devraient être choisies de la façon la plus aléatoire possible en fonction de deux facteurs :

- l'historique de jeu du sujet : prioriser les parties pas encore jouées par le sujet ;
- le niveau du sujet : nous avons introduit un concept de parties de différentes difficultés. En fonction du nombre de parties jouées et de la facilité du sujet à monter en niveau de difficulté, on impacte le choix de la prochaine partie qu'il jouera.

Grâce au choix de la tablette tactile pour support, Digisthésia a pu tirer avantage de 2 théories de domaines différents afin de construire un outil hautement intuitif. Les théories appliquées:

- psychologique : application de la théorie de l'intelligence pour passer du support classique (papier) à un support interactif (la tablette tactile);
- ergonomique : notre démarche UI/UX² (Interface Utilisateur/eXpérience Utilisateur) vise à optimiser les éléments d'interface statiques (zones d'affichage, fond écran, le contraste, etc.) et les interactions avec l'écran (clics boutons, glisser-déposer, double clic, etc.).

Les jeux de Digisthésia ont été conçus en correspondance avec les potentialités cognitives mesurées par le WISC5 Non-Verbal. L'utilisateur a donc le choix entre 4 jeux qui mettent en œuvre la mémoire, l'attention, vitesse de traitement et la résolution des problèmes.

4 Cinématique des jeux

Afin d'exemplifier notre approche de gamification de la mesure et entraînement d'une potentialité cognitive, nous allons nous pencher sur « La chasse au trésor » qui est le jeu mettant en œuvre la mémoire de l'utilisateur.

Lors de l'application du WISC Non-Verbal au sujet, pour la mesure de la mémoire, on montre au sujet une matrice fixée d'images qu'il doit reproduire. Le sujet doit donc choisir les images qu'il a retenues à partir de plusieurs images et ensuite les remettre dans le même l'ordre qu'on lui a présenté. A la fin, une note est donnée si la réponse est correcte. Le temps de réflexion est pris en compte.

4.1 La Chasse au trésor

Bien que sur tablette tactile, le mode de fonctionnement de ce jeu ressemble beaucoup à l'application classique du subtest Mémoire du WISC Non-Verbal. Voici les détails de l'interaction utilisateur – jeu à travers d'une partie, des tours et allant jusqu'aux essais.

Le sujet lance le jeu, la partie commençant toujours au premier niveau de difficulté avec 3 « vies » (nombre d'erreurs qu'il peut commettre). Sur la zone centrale de l'écran on retrouve une matrice de tuiles. La dimension de la matrice (et le nombre de tuiles) augmente avec le niveau de difficulté.

Lors d'un tour, sur la matrice plusieurs tuiles sont tournées et présentent différents symboles (Figure 1). Le nombre de tuiles qui sont tournées augmente par rapport au niveau de difficulté. Après un temps de 2 secondes les tuiles avec symbole retournent et les symboles sont donc cachés.

² De l'anglais : User Interface/User eXperience

L'objectif est de cliquer sur les tuiles qui avaient des symboles. A chaque essai correct, le score augmente. Si le sujet clique sur une tuile sans qu'il y ait de symbole derrière, il perd une vie (Figure 2). En plus, même s'il arrive toutefois à retrouver tous les symboles sans perdre les 3 vies, le prochain tour se fera au même niveau.

Pour passer au niveau supérieur, le sujet doit retrouver tous les symboles sans aucun essai erroné. Afin d'éviter un impact émotionnel négatif, il n'y a pas de points retirés en cas d'erreur.



Figure 1: Démarrage tour de niveau 6



Figure 2: Essais corrects et erronés

5 Valeur ajoutée

5.1 Psychologie: Adaptation du WISC Non-Verbal

Il est important de préciser que le contenu et l'administration de ce test sont adaptés aux particularités et aux besoins des personnes sourdes et malentendantes. Par conséquent, la valeur ajoutée de ce test est le fait que les consignes sont données par des images et que nous ne sommes pas obligés d'utiliser le langage oral. Nous pouvons aussi citer comme point positif la possibilité de donner des consignes dans le langage des signes sous la forme de vidéo enregistrées dans *Digisthésia*.

5.2 Ergonomie : Interface Utilisateur

Nous avons fait plusieurs choix de design apportant de la valeur ajoutée pour l'utilisateur. Premièrement, la profondeur de champ de vision posant l'accent sur les éléments d'interface importants donnée par des fonds d'écran (les fonds d'écrans participent aussi à « habiller » le jeu et renforcer la scénarisation et l'univers de l'outil : le thème des pirates).

Nous avons aussi partagé l'écran en 2 zones en fonction de l'importance:

- une zone « statique » en haut de l'écran (1/8 de l'écran) moins importante, qui présente les éléments statiques entre les jeux (bouton Retour, score, nombre vies et niveau courant);
- une zone centrale où l'utilisateur interagit avec le jeu;

Ensuite, nous avons mis en place une différenciation du coloriage entre les éléments d'interface. Les éléments statiques ou neutres: couleurs ternes, estompées, couleur principale - le « bleu Digisthésia ». Pour les éléments dynamiques ou cliquables : couleurs vives, couleur indiquant le succès - le vert; couleur indiquant l'échec - le rouge.

Finalement, la dichotomie important/non-important a été mise en œuvre par les animations : tout ce qui doit capter l'attention de l'utilisateur à un moment donné est animé, tout autre élément reste immobile.

L'interface ainsi conçue est adaptée aux réelles capacités des élèves sourds et malentendants. Les choix d'en-dessus pour les éléments de design ont pu:

- simplifier la prise en main de chaque jeu;
- maximiser l'intuitivité des interactions sur chaque écran;
- ne pas utiliser des éléments textuels comme de l'aide ou des indications initiales;
- rendre les jeux appétants via un design avec des éléments d'illustration plutôt qu'avec un penchant vers l'ergonomie mobile « classique ».

5.3 Ergonomie : eXpérience Utilisateur

A part l'interface utilisateur il fallait aussi mettre en relation le fonctionnement de Digisthésia avec le sujet de la thèse. Comme nous l'avons précisé précédemment, l'objectif des jeux ludoéducatifs était de mesurer et entraîner des capacités cognitives comme l'attention, la vitesse de traitement, la mémoire spatiale ainsi que la résolution de problèmes et la flexibilité cognitive.

Une deuxième exigence a donc été que le degré de difficulté des jeux soit croissant par rapport aux performances du sujet. Par conséquent, le sujet est amené progressivement vers des raisonnements de plus en plus complexes par étapes successives. La construction progressive des jeux ludo-éducatifs permettrait donc une évolution personnalisée des performances du sujet.

Une troisième exigence qui vise surtout la spécificité des utilisateurs sourds est celle de la « rétroaction³» (de l'anglais « Positive feedback »). Il s'agit d'un concept de circularité : plus l'utilisateur aime les jeux, plus il joue et plus il joue, plus il aime les jeux. Afin de mettre en place ce cadre positif, *Digisthésia* prend plusieurs initiatives pour ne pas suggérer la contrainte ou pression :

- contrainte : l'utilisateur peut choisir n'importe quel jeu (pas de concept de « déverrouillage progressif ») et à tout moment, sans horaire ou fréquence imposée;
- pression : le fait de ne pas chronométrer de façon visible les jeux contribue à l'aisance des utilisateurs;
- frustration : le fait de gagner ou perdre un jeu est récompensé de la même façon une fenêtre pop-up apparaît contenant un texte et une image très coloriée d'un coffre de trésor.

6 Résultats

Les résultats ont été validés à partir d'une volumétrie très importante de données, les 40 sujets utilisateurs de Digisthésia ayant joué 759 parties comptant 8503 tours avec un total de 38336 essais. Pour chaque essai nous enregistrions 15 paramètres différents (ex. vitesse de réaction, score, etc.). Cette volumétrie nous a permis d'effectuer des études quantitatives mais aussi qualitatives.

Le principal résultat est celui validant le fondement de notre travail : la population ayant utilisé

³ https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9troaction

Digisthésia a systématiquement amélioré le score total de l'échelle non-verbale WNV. Egalement, nous avons retrouvé une relation entre les subtests de la WNV et les 4 jeux éducatifs du logiciel Digisthésia. Plus précisément, le jeu éducatif « La chasse au trésor » est lié au subtest « Matrices » de l'échelle non-verbale WNV, le « Débarquement » est dans une relation d'interdépendance avec la sous-échelle le « Code », le jeu éducatif « Piège de la cascade » est en liaison avec celui de « Mémoire spatiale » et le « Puzzle » est lié à « Arrangements d'images ».

Les deux résultats précédents sont de nature quantitative et valables pour les 2 populations : les entendants et les sourds et malentendants. Afin de montrer l'intérêt de notre approche quant aux spécificités des utilisateurs sourds et malentendants, nous nous sommes penchés sur des indicateurs qualitatifs, comme par exemple le temps de réflexion pour un essai correct.

Plus précisément, sur les 3 jeux où il était pertinent d'appliquer cette analyse, les élèves sourds et malentendants ont réagi plus rapidement que les utilisateurs entendants, avec des écarts de 9% pour « Débarquement » ou 10% pour « La chasse au trésor ». L'écart maximum se retrouve pour le jeu « Piège de la cascade » ou les élèves entendants ont pris en moyenne 15% plus de temps pour répondre correctement.

7 Conclusion

En résumé, les résultats indiquent que la médiation par les nouvelles technologies a renforcé les potentialités cognitives des élèves sourds et malentendants. Nous avons observé un progrès au niveau de l'apprentissage des participants sourds et malentendants suite à l'utilisation du logiciel *Digisthésia*.

Nous pouvons conclure que la valeur ajoutée de notre logiciel d'apprentissage *Digisthésia* par rapport à un outil « classique » est évidente :

- intuitivité : l'outil est optimisé pour minimiser le temps de prise en main ;
- autonomie : rendre le sujet autonome pendant les séances d'utilisation ;
- continuité : l'application aide à sédimenter les notions apprises en classe ;
- visibilité : le suivi permet d'avoir un aperçu complet sur ce que le sujet fait ;
- non-intrusion : le suivi se fait à distance, sans apporter des facteurs perturbants dans l'environnement du sujet ;
- adaptabilité : les contenus sont conçus dans une logique de difficulté croissante qui permet aux sujets de s'améliorer progressivement;
- ludification : ajouter un côté plus ludique à l'apprentissage en utilisant le jeu comme canal de transit de l'information.

Références

Bailleul, M., Bataille, P., Lanoe, C. et Mazereau, P. (2009). École et handicap: de la coexistence à la reconnaissance. Paris: Sudel.

Bétrancourt, M. et Bozelle, C. (2012). Les MITIC au service de la pédagogie spécialisée. Mieux connaître leur spécificité pour développer des usages éducatifs pertinents. Rev. Suisse Pédagogie Spéc, 15-23.

Dehaene, S. (2013). Smart games: le potentiel cognitif des jeux sur ordinateur. Conférence-débat, Académie des sciences, Institut de France. Paris, le 22 janvier. Récupéré du site : http://www.academie-sciences.fr/archivage_site/video/v220113.htm

Fernández-López, Á., Rodríguez-Fórtiz, M. J., Rodríguez-Almendros, M. L. et Martínez-Segura, M. J. (2013). Mobile learning technology based on iOS devices to support students with special education needs. Computers & Education, 61(0), 77-90. DOI: 10.1016/j.compedu.2012.09.014

Hahn, J. et Bussell, H. (2012). Curricular use of the iPad 2 by a frst-year undergraduate learning community. Library Technology Reports, 48(8), 42-47. DOI: 10.5860/ltr.48n8

Houdé, O. (2013). Développement et éducation des enfants dans le monde des écrans. Conférence débat, Académie des sciences, Institut de France. Paris, le 22 janvier. Récupéré du site : http://www.academie-sciences.fr/archivage_site/video/v220113.htm

Kinash, S., Brand, J. et Mathew, T. (2012). Challenging mobile learning discourse through research: Student perceptions of Blackboard Mobile Learn and iPads. Australasian journal of educational technology, 28(4), 639-655.

Lachapelle-Bégin, L. (2012). Vers une révolution tactile ? Clic, Bulletin collégial des technologies l'information des communications, Récupéré http://clic.ntic.org/cgibin/aff.pl?page=article&id=2244

Louis, J. M. et Ramond, F. (2006). Scolariser l'élève handicapé. Paris : Dunod.

McClanahan, B., Williams, K., Kennedy, E. et Tate, S. (2012). A breakthrough for Josh: How use of an iPad facilitated reading improvement. Techtrends, 56(3), 20-28. DOI: 10.1007/s11528-012-0572-6

Murray, O. T. et Olcese, N. R. (2011). Teaching and Learning with iPads, Ready or Not?. *TechTrends*, 55(6), p. 42-48.

SCEREN (2010). Mathématiques et surdité, collection ASH-Adapter les pratiques pour scolariser tous les élèves. Lyon : CRDP de Lyon.

Wainwright, K. (2012). Putting iPads in the hands of faculty. Dans Proceedings of the ACM SIGUCCS 40th annual conference on Special interest group on university and college computing services (p. 139-144). New York, NY, USA: ACM. DOI: 10.1145/2382456.2382489

Wechsler, D. et Naglieri, J. A. (2009). Echelle non verbale d'intelligence de Wechsler. Paris : **ECPA**

Conception d'un simulateur immersif pour la conduite assistée de fauteuil roulant électrique

Louise Devigne^{1,2,3}, Marie Babel^{2,3}, Florian Nouviale², François Pasteau⁴, Aline Baudry^{2,3}, and Philippe Gallien¹

¹Pôle Saint Hélier, Rennes, France

²Inria/IRISA, Rennes, France

³INSA Rennes, Rennes, France

⁴Ergovie Company, Rennes, France

louise.devigne@pole-sthelier.com

Résumé

Certaines personnes se voient refuser l'obtention d'un fauteuil roulant électrique en raison de troubles cognitifs et/ou visuels les empêchant d'avoir une totale maîtrise de leur véhicule. Afin d'améliorer l'accès à la mobilité de ces personnes, nous avons développé une solution d'assistance à la conduite qui permet d'éviter les obstacles en corrigeant de manière semi-autonome et progressive la trajectoire du fauteuil roulant. Cependant, développer et tester de tels systèmes nécessite d'importantes ressources matérielles et humaines. Avec le déploiement des nouvelles technologies, il est maintenant possible d'accélérer le processus de recherche en réalisant une partie du développement à l'aide de simulateurs dans un environnement virtuel flexible et sécurisé, avant d'instrumenter et tester un prototype physique. L'objectif de cette étude préliminaire est d'évaluer le simulateur de conduite assistée de fauteuil roulant électrique développé par l'INSA Rennes permettant à l'utilisateur de naviguer dans un environnement 3D immersif.

1 Introduction

L'utilisation d'un fauteuil roulant électrique (FRE) est pour nombre de personnes en situation de handicap le seul mode de déplacement autonome dont elles disposent. Cependant, la maîtrise de ce type d'aide technique peut-être difficile pour des personnes atteintes de troubles visuels et/ou cognitifs. Ceci implique une réduction importante de leur mobilité et donc de leur accès a la vie sociale et aux loisirs (Richard et al., 2004). Afin d'améliorer la qualité de vie de ces personnes, des solutions intelligentes d'aide à la conduite de FRE doivent être développées.

Cependant, concevoir et tester de tels systèmes requiert des ressources humaines et matérielles importantes. Dans ce contexte, la réalité virtuelle (RV) se révèle être un outil pertinent car elle offre la possibilité de créer ou modifier rapidement et facilement l'environnement et de diminuer le temps de développement des solutions d'assistance. De plus, cette technologie est de plus en plus utilisée dans le champ du handicap pour des tâches de rééducation car elle peut avoir un impact positif sur la motivation de l'utilisateur (Bryanton et al., 2006; Howard et al., 2017).

La RV a précédemment été utilisée pour l'entraînement à des tâches spécifiques telles que la conduite d'un fauteuil roulant (Inman et al., 1995). Une étude a montré que les performances de conduite d'un fauteuil roulant dans un environnement virtuel peuvent être similaires aux performances de conduite dans un environnement réel (Cooper et al., 2005). Des simulateurs de conduite de FRE ont ainsi principalement été utilisés pour l'entraînement et l'évaluation des performances de conduite (Majahan et al., 2006; Adelola et al., 2009; Rodriguez, 2015; Alshaer et al., 2017). Dans la plupart des cas, l'environnement virtuel est représenté sur un écran d'ordinateur ou bien à travers un casque de RV. Par conséquent, le simulateur doit inclure un avatar que l'utilisateur peut s'approprier afin de mieux s'impliquer dans le monde virtuel et apprécier les distances (Schultze, 2010).

Ici, nous proposons un simulateur de conduite qui utilise un FRE réel disposé dans une salle de RV. L'utilisateur n'a donc pas besoin d'avatar puisque l'environnement virtuel est à la même échelle que le monde réel. De plus, le simulateur proposé intègre l'algorithme de contrôle partagé que nous avons développé et présenté dans (Babel et al. 2015) et qui a été testé et validé par des utilisateurs réguliers au travers de tests cliniques au Pôle Saint Hélier, centre de Médecine Physique et de Réadaptation situé à Rennes.

L'objectif de cette étude est de valider l'utilisation du simulateur en termes de satisfaction et de qualité d'expérience de l'utilisateur. Pour ce faire, nous avons conduit une expérience de navigation en FRE dans le simulateur avec des participants valides.

Le document est organisé comme suit. La section 2 formule brièvement la cinématique du FRE. La section 3 présente l'implémentation du simulateur. La section 4 détaille l'expérience qui a été conduite, et la section 5 présente les résultats.

2 La mobilité du fauteuil roulant

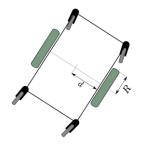
Le fauteuil roulant peut être décrit comme un robot mobile de type (2,0) (Campion et al., 2008). C'est- à -dire qu'il est muni de 2 degrés de mobilité et qu'aucune roue n'est orientable. Il possède 2 roues motrices et se déplace avec une vitesse linéaire (V) et une vitesse angulaire (W) au moyen d'une motorisation différentielle (les vitesses de rotation respectivement de la roue droite et de la roue gauche sont représentées par wd et wg). V et W peuvent ainsi être déterminées en fonction de la fréquence de rotation des deux moteurs et des paramètres géométriques du fauteuil (Fig. 1).

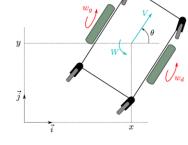
$$V = \frac{R \times (w_d + w_g)}{2} \tag{1}$$

$$W = \frac{R \times (w_d - w_g)}{d}$$

Les 2 degrés de mobilité V et W permettent d'agir sur l'état du système représenté par 3 paramètres $(x; y; \theta)$ dans un repère fixe (Fig. 2). Il présente ainsi une non-holonomie qui ne contraint pas le nombre de configurations qu'il peut atteindre mais la manière dont elles sont atteintes. Ainsi, lorsque l'utilisateur souhaite obtenir une position et une orientation précise du fauteuil, il peut avoir à effectuer plusieurs manœuvres d'avance et de recul.

L'utilisateur commande le FRE au moyen d'un joystick dont la sortie agit sur les vitesses linéaire (V) et angulaire (W) du FRE (Fig. 3).





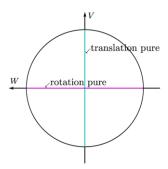


Figure 1: Paramètres géométriques du fauteuil roulant

Figure 2: Degrés de mobilité du fauteuil roulant

Figure 3: Commande des 2 degrés de mobilité du fauteuil au moyen du joystick

Implémentation

Le simulateur, que nous avons développé en collaboration avec l'équipe Hybrid du laboratoire Irisa/Inria, permet de naviguer avec un fauteuil roulant électrique réel dans un environnement virtuel. Le simulateur est compatible avec les casques de réalité virtuelle ainsi qu'avec la plateforme de réalité virtuelle Immersia (Fig. 4) que nous utilisons dans cette étude.

L'objectif est de concevoir un environnement virtuel 3D dans lequel nous pouvons prendre le contrôle d'un fauteuil roulant. L'utilisateur est installé dans un FRE standard fixe placé sur la plateforme et interagit avec l'environnement virtuel en actionnant un FRE virtuel avec le joystick du FRE dans lequel il est installé (Fig. 5). Afin d'assurer un comportement réaliste, les dimensions du fauteuil roulant virtuel doivent être identiques à celles du fauteuil réel positionné sur la plateforme. Le FRE utilisé est le même que dans (Babel et al. 2015).



Figure 4: La plateforme de réalité virtuelle rennaise Immersia. Elle est composée de 4 larges écrans sur lesquels sont projetées des images 3D.



Figure 5: Un participant assis sur le fauteuil placé dans la plateforme de réalité virtuelle.

La mesure des distances autour du fauteuil se fait avec des capteurs ultrasons virtuels que nous avons simulés. Le simulateur a été développé avec Unity 3D et MiddleVR pour l'interfacage avec la plateforme Immersia. Le framework développé utilise également le middleware ROS qui permet de gagner en flexibilité. On peut ainsi aisément utiliser différents moyens de commande pour le FRE (joystick, commande menton, etc.).

Nous avons implémenté un algorithme d'assistance à la conduite de FRE dans le simulateur.

Cet algorithme, présenté en détails dans Babel et al. (2015) fusionne la commande de l'utilisateur avec un ensemble de contraintes déduites des capteurs de distance pour corriger la trajectoire tout en respectant l'intention de l'utilisateur en prenant progressivement le contrôle du FRE.

4 Expérimentations

4.1 Protocole expérimental

Dans cette étude pilote, nous avons réalisé des tests avec des participants valides, afin de valider le framework et d'évaluer la satisfaction et la qualité de l'expérience pour l'utilisateur.

L'expérience consiste à naviguer dans un environnement virtuel constitué de 2 parcours d'obstacles (Fig. 6 et Fig. 7) en étant installé dans un FRE réel placé sur la plateforme de RV.

Après une session d'entraînement préliminaire visant à familiariser les participants avec le simulateur en effectuant des tâches de navigation simples (aller tout droit, faire demi-tour, etc.) dans l'environnement virtuel, les participants ont parcouru les deux courses d'obstacles avec et sans assistance. L'activation ou non de l'assistance ainsi que l'ordre de passage sur les circuits ont été randomisés afin de minimiser l'effet d'apprentissage.



Figure 6: Parcours d'obstacles issu de (How et al., 2013) dans l'environnement virtuel.

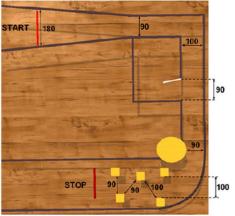


Figure 7: Parcours d'obstacles conçu pour l'expérience

4.2 Recueil des données

Nous avons utilisé ROS pour enregistrer les données du joystick, la position et la vitesse du fauteuil virtuel, les collisions, les données fournies par les capteurs virtuels et le temps de complétion.

Après avoir utilisé le simulateur, les participants ont rempli un ensemble de questionnaires comprenant le I-Group Presence Questionnaire (IPQ (Schubert, 2003)) qui mesure la qualité du simulateur en terme d'immersion et le NASA Task Load Index questionnaire (TLX (Hart, 2006)) utilisé pour mesurer la charge cognitive des participants pour la tâche de navigation dans le simulateur.

Résultats 5

9 personnes valides âgées de 11 à 38 ans ont participé à cette étude.

Le sentiment d'immersion a été mesuré en utilisant le questionnaire IPO (Schubert, 2003). Le score était en moyenne supérieur à 3 pour le sentiment d'implication (INV) et supérieur à 4 pour l'impression globale (G) et l'appropriation de l'espace (SP) (Fig. 8).

La charge cognitive demandée par le simulateur a été mesurée avec le questionnaire NASA-TLX (Hart, 2006). Les scores sont inférieurs à 50 avec une moyenne de 27.2+/-18.2 (moyenne +/- écart type) pour les 9 participants (Fig. 9).

Notons aussi que l'assistance a permis de réduire le nombre de collisions de 25 _a 1 (Fig. 10).

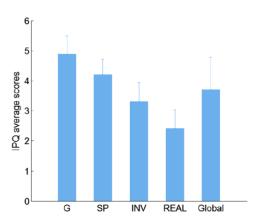


Figure 8: Score moyen pour le questionnaire IPQ pour chaque catégorie

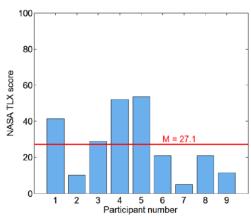
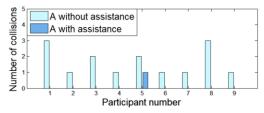


Figure 9: Scores du questionnaire NASATLX. M représente la valeur movenne pour les 9 participants



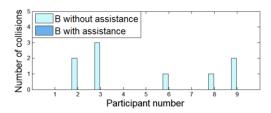


Figure 10: Nombre de collisions pour chaque participant sur chacun des parcours d'obstacles avec et sans assistance

Discussion

Le but de cette étude était d'évaluer notre simulateur pour la conduite assistée de FRE en termes de satisfaction des utilisateurs. Nous avons demandé à 9 participants valides de réaliser une expérience consistant à conduire dans l'environnement virtuel avec un véritable FRE placé sur la plateforme de RV. Cette étape est essentielle avant de considérer des tests avec des personnes en situation de handicap. Notre simulateur semble être accepté par les participants car il a généré un bon sentiment d'immersion. En outre, les résultats du questionnaire de la NASA TLX suggèrent que l'utilisation du simulateur demande un effort cognitif raisonnable. Les résultats permettent de valider l'utilisation de capteurs virtuels pour effectuer une assistance de conduite car l'utilisation de l'assistance a permis de réduire le nombre total de collisions de 25 à 1. Pour la suite, nous visons à concevoir des situations plus écologiques avec des scénarios généralement rencontrées par les utilisateurs de fauteuils roulants contenant de grands espaces mais aussi des tâches plus difficiles telles que la navigation dans un couloir étroit ou des obstacles sur le chemin. Nous développerons alors d'autres environnements virtuels et continuerons à utiliser des parcours d'obstacles comme outils pour évaluer les performances des solutions d'assistance de conduite développées.

7 Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté un simulateur générique pour la conduite de FRE. Un tel simulateur peut être utilisé sur un écran, dans une salle de réalité virtuelle ou avec un casque de réalité virtuelle. Ici, nous avons choisi de l'utiliser sur la plateforme de réalité virtuelle rennaise Immersia. L'utilisateur navigue avec un FRE standard dans un environnement 3D virtuel à l'échelle. Le simulateur a été validé par des tests effectués avec des participants valides. Dans les travaux futurs, nous améliorerons le simulateur avec de nouveaux environnements virtuels et l'introduction de davantage de signaux sensoriels afin d'accroître le sentiment d'immersion.

Nous utiliserons également ce simulateur pour aller plus loin dans nos recherches sur l'assistance de conduite en fauteuil roulant électrique. En effet, ce simulateur a l'avantage de fournir un réglage rapide et facile et nécessite beaucoup moins de temps et de ressources matérielles. Nous prévoyons d'utiliser ce simulateur pour faciliter le processus de recherche sur les solutions de gestion de la navigation en présence de trottoirs. Nous prévoyons également d'effectuer d'autres expériences avec des personnes en situation de handicap.

8 Remerciements

Nos remerciements vont à Ronan Gaugne, Bruno Arnaldi et Valérie Gouranton de l'équipe Hybrid. Nous voudrions également remercier Manutea Huang, Valentin Bureau et Nicolas Le Borgne de l'INSA Rennes qui ont été d'une grande aide dans les phases de développement et de tests. Enfin, nos remerciements vont à toutes les personnes qui ont participé à cette étude.

Références

Richard, C., Simpson. (2004). Smart wheelchairs: A literature review. Journal of rehabilitation research and development, 42(4):423-436.

Bryanton, C., Bosse, J., Brien, M., Mclean, J., McCormick, A., Sveistrup, H. (2006). Feasibility, motivation, and selective motor control: virtual reality compared to conventional home exercise in children with cerebral palsy. Cyberpsychology & behavior, 9(2):123-128.

Howard, M.C. (2017). A meta-analysis and systematic literature review of virtual reality rehabilitation programs. Computers in Human Behavior.

Inman, D.P., Loge, K. (1995). Teaching motorized wheelchair operation in virtual reality. In Proceedings of the 1995 CSUN Virtual Reality Conference.

Cooper, R.A., Spaeth, D.M., Jones, D.K., Boninger, M.L., Fitzgerald, S.G., Guo, S. (2002). Comparison of virtual and real electric powered wheelchair driving using a position sensing joystick and an isometric joystick. *Medical engineering & physics*, 24(10):703-708.

Mahajan, H.P, Dicianno, B.E., Cooper, R.A., Ding, D. (2013). Assessment of wheelchair driving performance in a virtual reality-based simulator. The journal of spinal cord medicine, 36(4):322-332, 2013.

Adelola, I.A., Cox, S.L., Rahman, A. (2009). Virtual environments for powered wheelchair learner drivers: Case studies. Technology and Disability, 21(3):97-106.

Rodriguez, N. (2015). Development of a wheelchair simulator for children with multiple disabilities. In 3rd IEEE VR International Workshop on Virtual and Augmented Assistive Technology (VAAT), pages 19-21, March 2015.

Alshaer, A., Regenbrecht, H., OHare, D. (2017). Immersion factors affecting perception and behaviour in a virtual reality power wheelchair simulator. Applied Ergonomics, 58:1-12.

[10] Schultze, U. (2010). Embodiment and presence in virtual worlds: a review. Journal of Information Technology, 25(4):434-449.

Babel, M., Pasteau, F., Guégan, S., Gallien, P., Nicolas, B., Fraudet, B., Achille-Fauveau, S., Guillard, D. (2015). HandiViz project: clinical validation of a driving assistance for electrical wheelchair. In IEEE Workshop On Advanced Robotics And Its Social Impacts (ARSO), Lyon, France, July 2015.

Campion, G., Chung. W. (2008). Wheeled Robots. In Springer Handbook of Robotics, pages 391-410.

How, T-V., Wang, R.H., Mihailidis, A. (2013). Evaluation of an intelligent wheelchair system for older adults with cognitive impairments. Journal of neuroengineering and rehabilitation, 10(1):90.

Schubert, T.W. (2003). The sense of presence in virtual environments: A three-component scale measuring spatial presence, involvement, and realness. Zeitschrift f \Box ur Medienpsychologie, 15(2):69-71, 2003.

Hart, S.G. (2006). Nasa-task load index (nasa-tlx); 20 years later. In *Proceedings of the human* factors and ergonomics society annual meeting, volume 50, pages 904-908. Sage Publications Sage CA: Los Angeles, CA, 2006.

Astro Vers Tous: le ciel à la portée de tous

Danielle Briot¹, Régis Courtin¹ et le Collectif AvT

Observatoire de Paris

Résumé

Les astronomes, qu'ils soient amateurs ou professionnels, vivent une passion qui les pousse à observer le ciel et leur donne envie de communiquer avec les autres à propos de ce qu'ils y découvrent. Mais cette transmission des connaissances peut s'avérer compliquée quand elle est destinée à un public dit "empêché". C'est à nous de faire la plus grande partie du chemin vers les autres et de leur faciliter l'accès aux merveilles de l'Univers. Ces personnes, jeunes ou adultes, peuvent être empêchées par la maladie, une infirmité, ou encore l'incarcération. C'est le but du collectif Astro Vers Tous que de concevoir et de mettre en pratique des activités ludiques et didactiques liées à l'astronomie en direction des publics empêchés.

1 Introduction

Astro Vers Tous est un collectif fondé en 2006 et rassemblant des astronomes professionnels et amateurs. Les professionnels sont chercheurs à l'Observatoire de Paris et les amateurs agissent au sein d'associations telles que *Des étoiles pour tous, Planète Sciences et l'Observatoire Populaire de Laval*. Ses actions sont multiples et diverses, aussi bien dans leur forme que dans les publics auxquels elles s'adressent.

2 Animations dans les hôpitaux

Des animations en direction des enfants hospitalisés ont été organisées dans les CHU de Caen et de Bordeaux, et dans des établissements de l'APHP (Bicêtre, Raymond-Poincaré, Trousseau). Les interventions sont évidemment adaptées aux exigences de ce public. Par exemple, un planétarium gonflable spécialement adapté et utilisant une projection au plafond a permis d'accueillir des jeunes en fauteuil ou en chariot plat. Des expositions ont été organisées dans des couloirs et des halls de consultation, et des séances d'observation nocturne ont pu avoir lieu. Une visite de l'observatoire de Meudon par des jeunes en fauteuil ou en chariot leur a permis de découvrir instruments anciens et modernes. Pour les enfants qui ne peuvent pas sortir de leur chambre, des animations adaptées ont été mises en place. Cela nécessite bien sûr de se plier aux contraintes sanitaires, d'évaluer la fatigue ou le désintérêt de l'enfant. Tout ce travail est fait en collaboration avec les équipes soignantes, et

3 Le Handiscope, un télescope pour les personnes à mobilité réduite

Quand on utilise un télescope, ou une lunette, on ne pense généralement pas qu'il est nécessaire pour manipuler l'instrument et mettre son œil à l'oculaire, de disposer de toute sa mobilité. Pour que les personnes en fauteuil roulant puissent profiter des observations nocturnes, un télescope a été spécialement conçu: le *Handiscope*. Il est produit en petite série et diffusé auprès de communautés ou d'observatoires afin qu'un plus grand nombre de personnes en fauteuil puissent avoir accès aux objets célestes.

4 L'astronomie en langue des signes

Un travail suivi vers la communauté sourde est mené depuis plus de dix ans. Des conférences ont été traduites en langues des signes, et des soirées thématiques mensuelles comprenant observations et conférences en langues de signes sont organisées à l'observatoire de Meudon. Un dictionnaire astronomique en langue des signes a été édité qui comprend plus de 300 signes. Plusieurs classes de l'Institut des Jeunes Sourds de Paris ont pu également goûter aux joies de l'observation au télescope de 1m de l'observatoire de Meudon et des stages d'observation pour jeunes sourds ont été organisés à plusieurs reprises au Centre Astronomique de Buthiers (77) géré par *Planète Sciences*.

5 Actions vers les aveugles et malvoyants

Même s'ils peuvent apparaître comme le public auquel l'astronomie serait le plus difficilement accessible, les aveugles et malvoyants ne sont pas oubliés. Des jeunes fréquentant l'Institut National de Jeunes Aveugles ont participé à une Semaine de l'Astronomie au sein de leur établissement, avec ateliers, conférences et séances d'observation. D'autres ont pu visiter l'observatoire de Meudon. Une expérimentation avec un intensificateur d'images a permis à de jeunes malvoyants d'observer la Lune et des planètes. Depuis quelques mois, à la Cité des Sciences et de l'Industrie, ainsi qu'au Palais de la Découverte, des ateliers permettent aux déficients visuels de manipuler des maquettes et des représentations tactiles afin de se familiariser avec des objets et des phénomènes célestes.

6 L'astronomie derrière les barreaux

Des initiations à l'astronomie dans les prisons de la région parisienne existent depuis 1998. Elles se font en collaboration avec les enseignants en milieu carcéral, ou avec le SPIP (Service Pénitentiaire d'Insertion et de Probation). Ces actions proposent le plus souvent des conférences ou des cours, qui sont suivis avec énormément d'intérêt et suscitent de nombreuses questions, mais elles ont aussi conduit à l'observation d'une éclipse solaire partielle à Fresnes, à la réalisation d'une fresque sur le système solaire à Fleury-Mérogis, et à une exposition à la médiathèque de la Santé. Des sorties

organisées pour des détenus de la Santé leur ont permis de visiter l'observatoire de Paris et d'observer les détails de la Lune à la lunette Arago un soir d'avril. Joignant l'utile à l'agréable, une promenade méridienne à travers Paris a mené astronomes, détenus et personnels pénitentiaires jusqu'à l'église Saint-Sulpice pour un concert d'orgue. Ce type d'actions a ainsi été mené en maison d'arrêts ou en centre de détention à Angers, Bois d'Arcy, Fresnes, Fleury-Mérogis, Melun, Nanterre, Osny, Paris, Poissy, et dans des établissements pour mineurs à Liancourt et Porcheville.

7 Conclusions

Toutes ces actions et réflexions, le collectif souhaite bien entendu les faire connaître et les partager. Plusieurs rencontres au niveau national ont eu lieu depuis 2011, centrées sur la pratique d'animations et l'adaptation d'outils pédagogiques pour les publics spécifiques. Des tables rondes ont été organisées dans le cadre des Rencontres du Ciel et de l'Espace à Paris. Enfin, un livret intitulé L'univers au bout des doigts a été édité à l'intention des animateurs scientifiques pour mettre à leur disposition quelques activités adaptées et leur proposer des ressources en ligne. Enfin, depuis quelques années, le collectif présente ses objectifs et ses activités dans des salons spécialisés tels que Autonomic Paris, Journées des Familles de l'AFM-Téléthon, Challenge Handicap & Technologies, etc. Le but avoué est de développer et de pérenniser le plus possible ce type d'actions.

Astro Vers Tous : Astronomie et Surdité

Dominique Proust et Régis Courtin Observatoire de Paris-Meudon

Astro vers Tous : diffuser les connaissances liées à l'astronomie auprès de publics dits « empêchés », rencontrant de grandes difficultés d'accès à la culture scientifique en général.

Astro vers Tous est une action menée par des chercheurs de l'Observatoire de Paris, en collaboration avec son service de la communication, et dans le cadre d'un collectif avec les associations Des Etoiles pour tous¹, présidée par Jean-François Soulier, ainsi que Planète Sciences² avec le concours des animateurs, dont Jean-Baptiste Bellier et plusieurs bénévoles, et l'Observatoire populaire de Laval, sous la houlette de Jérôme Galard. Cette action implique également des membres de la communauté sourde intervenant dans les médias, notamment Daniel Abbou (France 5) et Jérôme Gasnier (médiateur). Astro vers Tous est un ensemble d'interventions visant à diffuser les connaissances liées à l'astronomie et l'astrophysique auprès de publics dits « empêchés », c'est-à-dire rencontrant pour diverses raisons de grandes difficultés d'accès à la culture scientifique en général.

Astro vers Tous intervient en milieu carcéral, sous forme de conférences et d'animations thématiques. S'appuyant sur l'expérience de Danielle Briot (Observatoire de Paris), qui intervient depuis plusieurs années en tant qu'enseignante dans les maisons d'arrêt de la Santé (Paris) et de Fresnes (Val de Marne), ces interventions ont pu être étendues à celles d'Osny (Val d'Oise), de Liancourt (Oise), et de Fleury-Mérogis (Essonne). En plus des cycles de conférences proposés régulièrement, des animations réclamant une participation active des détenus ont pu être organisées, comme l'observation d'une éclipse partielle de Soleil à Fresnes, la réalisation d'une fresque sur le Système solaire à Fleury-Mérogis, une visite de l'Observatoire de Paris par des détenus de la Santé suivie d'une soirée d'observations de la Lune avec la lunette Arago de l'observatoire, une exposition sur l'astronomie à la médiathèque de la Santé et une promenade commentée dans Paris le long du méridien. Cette action est pilotée par Danielle Briot et Régis Courtin à l'Observatoire de Paris et Jérôme Galard à l'Observatoire populaire de Laval (Mayenne). Ils sont également intervenus en 2014 dans les centres de détention de Nanterre, d'Angers et de Laval.

Le collectif intervient également en milieu hospitalier, et les interventions se déclinent sous forme d'expositions dans les couloirs des services et de conférences. Des ateliers destinés aux enfants

¹ http://desetoilespourtous.fr/

² http://www.planete-sciences.org/astro

hospitalisés sont animés par les membres de l'association Planète Sciences, et sont généralement suivis de séances avec un planétarium mobile et d'une visite de l'Observatoire de Meudon.

Pendant plusieurs années, une émission mensuelle, baptisée La tête dans les étoiles a été animée par Régis Courtin et Dominique Proust, sur le réseau Radio-Hôpital; cette émission consistait à inviter les scientifiques de l'Observatoire de Paris à présenter leurs activités et leurs passions. Cette antenne est actuellement en sommeil, en attendant sa réorganisation.

Astro vers Tous intervient auprès de la communauté sourde depuis près de 15 ans, sous le pilotage de Dominique Proust. Les sourds ont été marginalisés pendant près d'un siècle, suite à l'interdiction de la Langue des Signes, dont l'extraversion ne répondait pas aux critères sociaux de l'époque. Elle n'a retrouvé son statut de langue à part entière que depuis 1991. Cette censure eut pour conséquence de rendre très difficile l'accès de l'astronomie aux sourds, notamment par une carence de signes adaptés au vocabulaire scientifique. Des soirées thématiques mensuelles sont organisées à l'Observatoire de Meudon, comprenant des observations sur les différents télescopes, ainsi que des conférences données en Langue des Signes. Un partenariat, basé sur le même principe, fonctionne depuis plusieurs années entre l'Institut National des Jeunes Sourds (INJS) et l'Observatoire de Paris. Des conférences ont été données à Paris et en province (Asnières, Chambéry, Laval, Rouen, Bordeaux etc.), par Dominique Proust, Jérôme Gasnier et Daniel Abbou. Cette action a abouti à la rédaction d'un dictionnaire d'astronomie pour la Langue des Signes Française publié en 2009, et contenant plus de 300 signes (figure 1), majoritairement adoptés au niveau international (Proust et al., 2009).

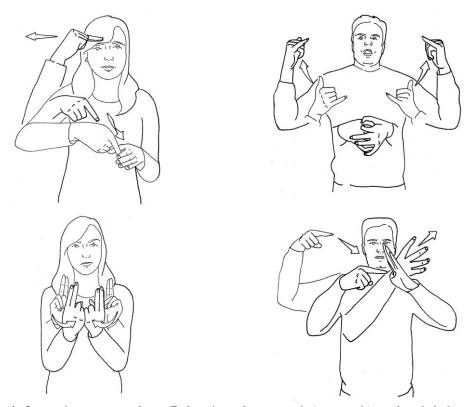


Figure 1: Quatre signes astronomiques. En haut à gauche : trou noir (trou + noir) ; en haut à droite : quasar (petite région + très énergétique + émission) ; en bas à gauche : Univers (la lettre « U » décrit l'espace) ; en bas à droite : spectroscopie (lumière + fente + dispersion). Dessins: Carole Marion.

Début 2015, l'Union Astronomique Internationale (IAU) dans le cadre de l'Office of Astronomy for Development a décidé de subventionner un projet destiné à diffuser l'astronomie dans les communautés sourdes au niveau international, par la création d'un site dédié, ainsi que par la traduction du dictionnaire en plusieurs langues, tenant compte d'une signalétique adaptée à chaque pays. Outre Dominique Proust, ce programme implique notamment Beatriz Garcia (ITeDA, Mendoza, Argentine), Amelia Ortiz-Gill (Universidad de Valencia, Espagne) et Blanca Camucet (ESO-Santiago, Chili). La figure 2 montre l'annonce d'une conférence d'astronomie signée en juillet 2012 par Dominique Proust à Santiago du Chili, et la figure 3 illustre une des conférences données en Langue des Signes à l'Observatoire populaire de Buthiers (77).



Figure 2: L'annonce d'une conférence d'astronomie signée en juillet 2012 par Dominique Proust à Santiago du Chili.

Il peut sembler paradoxal de mettre l'astronomie, science réputée essentiellement visuelle, à la portée des aveugles et des malvoyants. Cependant, la connaissance de l'Univers et de son contenu sont tactilement accessibles, à l'aide d'un ensemble de maquettes et d'une pédagogie adaptée.



Figure 3: Conférence en Langue des Signes donnée à l'Observatoire populaire de Buthiers (77) par Dominique Proust.

Des visites spécifiques de l'Observatoire de Meudon ont été organisées pour des jeunes de l'Institut National des Jeunes Aveugles (INJA) à Paris, et des observations de la Lune et des planètes, à l'aide d'un intensificateur d'images, ont été faites par l'association Des Étoiles pour Tous (figures 4 et 5). Sous l'impulsion de Ludovic Petitdemange, chercheur malvoyant à l'Observatoire de Paris (LERMA-ENS) et professeur de mathématiques à l'INJA, une semaine de l'astronomie a été organisée à l'INJA en octobre 2013, relayée par la diffusion d'un programme du magazine A vous de voir de France5, destiné aux aveugles et aux malvoyants.

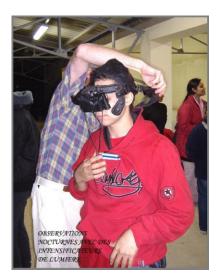




Figure 4 et 5: L'astronomie accessible aux malvoyants à l'aide d'un intensificateur d'images, et aux aveugles à l'aide de maquettes (Jean-François Soulier).

Le collectif présente régulièrement ses actions dans le cadre des Rencontres du Ciel et de l'Espace organisées par l'Association Française d'Astronomie, soit par sa présence sur le stand de l'Observatoire de Paris, soit sous la forme d'une table ronde. En 2014, il a également participé au Salon Autonomic de Paris dans l'objectif d'informer directement les publics concernés. Dominique Proust et Régis Courtin ont présenté Astro vers Tous en janvier 2014 à la conférence m-Science and science dissemination for people with disabilities à l'International Centre for Theoretical Physics de Trieste (Italie).

Le collectif intervient et travaille au développement de l'accessibilité des télescopes pour les handicaps moteur. L'association Des Étoiles pour Tous a mis au point avec Emmanuel Mallart (Axis Instruments) un télescope adapté, baptisé handiscope, permettant d'observer depuis un fauteuil roulant (figure 6). De son côté, l'Observatoire de Paris étudie les moyens d'accès aux télescopes du site de Meudon.

L'ensemble de ces actions a été récompensé en 2010 par la remise du prix Le Goût des Sciences du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Ce type d'action, qui existe également en région Midi-Pyrénées (association Les Étoiles Brillent pour Tous³), mérite d'être développé, partout où l'astronomie et le public se rencontrent, que ce soient les observatoires ou les planétariums



Figure 6: Le handiscope de l'Observatoire de Paris (à droite), développé par l'association Des Étoiles pour Tous (Jean-François Soulier) et Axis instruments (Emmanuel Mallart), présenté par Régis Courtin au salon Autonomic à Paris en juin 2014.

Référence

Proust, D., Abbou, D., Chab, N., Delaporte, Y., Marion, C., Proust, B. (2009). Les Mains dans les Etoiles, Dictionnaire encyclopédique d'astronomie pour la Langue des Signes Française (LSF), Burillier.

³ http://www.art-eres.net/EBPT

Challenge Handicap et Technologies

Le Challenge Handicap et Technologies est une compétition francophone annuelle organisée autour de défis en rapport avec le champ du handicap. Il permet aux participants d'exposer leurs réalisations et leurs initiatives dans le cadre d'une compétition amicale.

Le Challenge Handicap et Technologies 2017 (la 9^{ème} édition), s'organise autour de 4 défis :

- Un défi "éducation" pour présenter des idées permettant à des personnes en situation de handicap de réussir en milieu ordinaire.
- Un défi "autonomie" pour présenter des idées permettant de favoriser l'autonomie des personnes pour toutes les activités de la vie quotidienne.
- Un défi "Communication, accessibilité" pour présenter des idées permettant à l'outil informatique d'être une véritable aide pour les personnes en situation de handicap, et non un frein.
- Un défi "Inclusion" pour présenter des idées permettant de promouvoir la participation professionnelle, sociale et citoyenne des personnes en situation de handicap.

Le CHT 2017 met l'accent sur l'interaction et les technologies dans une prise en charge prédictive de comportements et de contextes. Il est ouvert à l'espace francophone avec la présence de trois projets canadiens (projets *Amelis*, *Cook-assistant culinaire* et *S-Phone*). Il comporte plusieurs projets à destination de personnes polyhandicapées et rend compte du développement des technologies d'assistance dans les espaces domestiques.

Cette édition 2017 témoigne de la permanence de l'éducation et de la culture inclusives (UniArt, S-Phone, FabUlis 3.0, FREEWheels, Les étoiles entre nos mains) comme champ applicatif mais il témoigne également de nouvelles approches qui se concentrent sur l'anticipation, la prédiction ou la prise en compte de l'environnement et des comportements (Reco Stress, ActivEasy, Robots et autisme). On retrouve aujourd'hui de façon plus intense l'espace domestique (domotique, agent virtuel) associant : assistance et sécurité (ActivEasy, COOK-assistant culinaire, CEPHA); développement des agents, des robots (Robots et autisme), de la réalité virtuelle (Amelis) et des fablabs (FabUlis 3.0); personnes polyhandicapées (CEPHA, COMM'HANDI, UniArt) et; pour les personnes mono-handicap, leur assistance face à la complexité environnementale et/ou physiologique (Amelis, Les étoiles entre nos mains, FREEWheels, Reco Stress).

Application ActivEasy

Clémence Chassan, Jennifer Supatto, Toutou Ben Aouf, Dominique Archambault, Pascale Pousset Université Paris 8, Saint-Denis, France

clemence.chassan@gmail.com

Le projet présenté est une application smartphone sous Android, ayant l'objectif d'assister des personnes atteintes d'un syndrome dysexécutif dans les activités de vie quotidienne. Ce projet s'inscrit dans un contexte de rééducation et réadaptation en ergothérapie. Il s'agit de compenser les troubles exécutifs (anticipation, planification, adaptation, organisation) avec une application qui remplacerait l'aide humaine nécessaire dans des activités dites complexes. Cette application consiste donc, à guider une personne atteinte d'un syndrome dysexécutif à l'aide d'étapes, afin de réaliser une activité de vie quotidienne de manière autonome.

Mots-clés : syndrome dysexécutif, ergothérapie, activités de vie quotidienne, rééducation, réadaptation, application Smartphone.

Amelis : intégration d'un agent virtuel pour faciliter l'interaction avec un calendrier interactif

Wathek Bellah Loued¹, Amandine Porcher^{1,2}, Leopold Lieb¹, Hélène Pigot¹, Dominique Lorrain², Clément Guerin², Christine Chauvin²

Laboratoire DOMUS, Université de Sherbrooke, Québec, Canada

² Université de Bretagne-Sud, France

Wathek.bellah.loued@usherbrooke.ca

Nous vivons aujourd'hui dans un monde de plus en plus connecté. Grâce à nos tablettes et nos téléphones « intelligents » nous organisons nos journées, en inscrivant des rendez-vous et en se les faisant rappeler au moment souhaité. Nous souhaitons des réponses intelligibles et conviviales. Ces interactions restent toutefois complexes pour les aînés peu habitués à l'informatique, ce qui contribue à agrandir la fracture numérique chez les personnes âgées. Nous avons donc conçu un calendrier interactif sur tablette, Amelis, proposant des moyens d'interaction alternatifs, les plus naturels et intuitifs possible. Lors d'ateliers avec les personnes âgées, celles-ci ont perçu les agents virtuels comme une solution aux difficultés d'interaction dues à des problèmes de motricité réduite, de sensibilité tactile et de contrôle cognitif des interfaces tactiles. Amelis a été conçu avec des aînés québécois et français. Il intègre un agent virtuel et a été déployé au domicile de quatre participants au Québec pour une période de deux mois.

En conclusion, Amelis a été apprécié par les participants. L'interaction avec l'agent virtuel a apporté de la convivialité aux interactions. Toutefois, pour répondre aux souhaits des participants, l'agent virtuel se doit de démontrer plus d'émotion et de mieux comprendre la conversation.

Mots-clés: Agents virtuels, IHM, émotions, calendrier, personnes âgées.

Projet CEPHA

Imen Jdidi, Camil Haddadi, Armand Thorel, Dominique Archambault, Pascale Pousset

Université Paris 8, Saint-Denis, France

dominique.archambault@univ-paris8.fr

Notre projet consiste en un contrôle d'environnement adapté aux besoins des personnes polyhandicapées malvoyantes. Il dispose de deux contacteurs permettant d'interagir avec l'environnement. La finalité est de permettre aux utilisateurs de commander deux fonctions de leur habitat, pour leur apporter une certaine autonomie sur un centre d'intérêt bien cerné, sans l'aide d'une tierce personne. Le dispositif permet également de les stimuler pour essayer de travailler et de développer une envie d'interaction avec certains des équipements de leur habitat : une lampe, un volet roulant, un lecteur de musique, ou tout autre appareil permettant une commande électrique.

Techniquement il s'agit d'une téléthèse couplée avec un environnement domotisé avec lequel elle peut échanger des trames infrarouges. Elle se commande grâce à des contacteurs, connectés sur des ports jack de 3.5mm (jusqu'à 3 contacteurs).

Mots-clés: Polyhandicap, compensation du handicap, autonomie, domotique, contrôle d'environnement, téléthèse, Arduino.







PrototypeTéléthèse

Projet COMM'HANDI

Patrick Abellard, Karine Bartalucci, André Kiener Université de Toulon, France

patrick.abellard@univ-tln.fr

Le projet COMM'HANDI résulte de la collaboration entre l'Université de Toulon (IUT – I3M) et l'ADAPEI du Var. Il concerne la réalisation d'interfaces de communication personnalisées pour des enfants et adolescents polyhandicapés.

Le contexte d'émergence du projet repose sur la constatation d'une thérapeute de l'ADAPEI et de ses collègues portant sur les outils de communication pour des enfants et adolescents polyhandicapés.

De nombreux appareils existent dans le commerce, mais certains nécessitent parfois d'être modifiés pour s'adapter à l'enfant handicapé (et non pas le contraire) et d'autres sont à élaborer sur la base des observations faites sur le terrain en termes de besoins, d'ergonomie, de confort et facilité d'utilisation...

C'est ainsi qu'il y a 2 ans, l'ADAPEI s'est mise à la recherche d'un partenaire technique capable de trouver des solutions aux difficultés rencontrées. Elle s'est tournée vers l'Université de Toulon, et plus particulièrement le Département GEII de l'IUT (Génie Electrique et Informatique Industrielle) et le laboratoire I3M (Informations, Médias, Milieux, Médiations).

Cette collaboration a débouché sur plusieurs réalisations d'interfaces de communication réalisées par des étudiants.

Mots-clés: Polyhandicap, interfaces, communication.

Projet COOK – Assistant culinaire

Sylvain Giroux¹, Nathalie Bier², Hélène Pigot¹
¹Laboratoire DOMUS, Université de Sherbrooke, Québec, Canada
²Ecole de réadaptation de Montréal, Québec, Canada

sylvain.giroux@usherbrooke.ca

Favoriser l'autonomie de personnes en hébergement pour personnes vivant avec les séquelles d'un traumatisme crânien grave, en leur permettant de reprendre une activité significative, c'est une cible du projet de recherche COOK –Assistant Culinaire.

Ce projet a permis, en impliquant les futurs utilisateurs, de développer une technologie d'assistance cognitive à la préparation de repas.

L'application comprend un volet d'assistance cognitive, mais également un système de sécurité intégré dans l'environnement et visant à diminuer les risques d'incendie liées à l'utilisation d'une cuisinière. Des capteurs intégrés dans l'environnement permettent au système de suivre l'évolution de l'activité et donc, si une situation jugée à risque se produit, l'utilisateur est averti et s'il ne corrige pas la situation, la cuisinière est automatiquement verrouillée.

La technologie a été déployée dans une ressource d'hébergement. Trois résidents ont repris la préparation de repas et utilise quotidiennement la technologie.

La technologie actuelle inclut également une interface permettant aux préposées de savoir, depuis leur poste de garde, si la cuisinière d'un résident est en fonction et si le système de sécurité est en alerte ou non.

COOK – Assistant Culinaire apparaît donc comme une solution viable pour concilier sécurité et autonomie en termes de préparation de repas !

Mots-clés : Traumatisé crânien, technologie d'assistance cognitive à la préparation de repas, indépendance, autonomie, participation sociale, sécurité.

Projet FabUlis 3.0 : un laboratoire de pratiques numériques en ULIS

Alexandre Benassar et Baptiste Melgarejo Education Nationale, Metz, France

Alexandre.benassar@wanadoo.fr

FabUlis c'est la rencontre de deux mondes, deux dispositifs, l'un pour l'inclusion scolaire d'élèves en situation de handicap dans l'école ordinaire et le second pour le « pairs-à-pairs » (P2P) des « makers ». Mais c'est aussi la rencontre de deux enseignants du secondaire, spécialisés dans les troubles des fonctions cognitives et les dispositifs pédagogiques innovants.

Mots-clés: Inclusion scolaire, Maker, Fablab, ULIS Pro.

FREEWheels : pédalage assisté par stimulation électrique fonctionnelle

Christine Azevedo, Charles Fattal, Benoît Sijobert Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA)

christine.azevedo@inria.fr

Le projet FREEWheels concerne l'utilisation de la stimulation électrique fonctionnelle (SEF) afin de faire pédaler un sujet paraplégique grâce à ses propres muscles. Cette technologie consiste à appliquer une série d'impulsions électriques à travers la peau via des électrodes pour activer la contraction musculaire. Cela permet à un sujet paraplégique de réaliser un mouvement de pédalage et de propulser un vélo à trois roues.

Plusieurs études ont montré les bénéfices physiologiques et psychologiques apportés par le pédalage par SEF chez le sujet paraplégique.

Notre équipe a entraîné pendant douze mois un pilote paraplégique depuis 20 ans, pour une participation à la première compétition dédiée aux technologies d'assistance (Cybathlon, à Zurich en Octobre 2016 http://www.cybathlon.ethz.ch/the-disciplines/fes-race.html). Le pilote a relevé le défi de parcourir 750m en moins de 8mn. L'objectif du projet FREEWheels est désormais d'évaluer la faisabilité et l'impact d'une telle activité sur une population plus large de sujets lésés médullaires et de généraliser les résultats obtenus sur le premier sujet.

L'équipe participera au Cybathlon 2020. http://freewheels.inria.fr/

Mots-clés : Rééducation, stimulation électrique fonctionnelle, cycling, pédalage assisté, blessés médullaires.



FREEWheels

Les étoiles entre nos mains

Adrien Morel de Villepoix¹, Jean-Baptiste Bellier², Mahéry Andriantseheno², Sébastien Jean-Louis²

¹ Equipe THIM CHArt (EA 4004), Université Paris 8, Saint-Denis, France

² Planète Science, France

adrien.morel.de.villepoix@gmail.com

Le projet présenté porte sur le développement d'une animation pédagogique interactive en astronomie pour des personnes aveugles : l'animation d'un graphique de classification des étoiles (diagramme de Hertzsprung-Russell ou HR). Le public non voyant est invité à manipuler et concevoir lui-même le graphique en question. Il s'agit d'une animation de vulgarisation scientifique. Elle permet au public aveugle d'être acteur de l'animation.

Mots-clés: Animation, vulgarisation scientifique, accessibilité, action

Reconnaissance de stress pour l'optimisation des paramètres d'un communicateur à défilement

Smail Rebib, Guy Bourhis, Pierre Pino Laboratoire LCOMS. Université de lorraine

smail88rebib@gmail.com

Un communicateur à défilement est une aide technique destinée à des personnes handicapées moteur ne pouvant utiliser qu'un capteur d'interface homme-machine « tout-ou-rien » (contacteur mécanique, capteur au souffle, etc.) pour contrôler leur environnement. On rend successivement sélectionnables à une certaine cadence Tscan divers éléments (les lettres de l'alphabet par exemple) présentés sur un écran. Il suffit à la personne d'actionner le capteur pour sélectionner un élément.

Une problématique importante est le choix optimal de Tscan : suffisamment rapide pour optimiser la communication mais pas trop pour pour éviter les erreurs. On se propose dans ce projet de régler Tscan en fonction du stress de l'utilisateur. Cette mesure du stress pourrait également permettre de détecter/corriger les erreurs de sélection sur l'interface du communicateur.

La reconnaissance du stress s'effectue à l'aide d'un kit Bitalino d'acquisition/ traitement de signaux physiologiques (http://bitalino.com/index.php/en/plugged-kit-ble). Dans cette première étude de faisabilité on utilise uniquement une source d'information : l'activité électrodermale (AED). Les expérimentations s'appuient sur le communicateur à défilement EDiTH (http://lcoms.univlorraine.fr/content/d%C3%A9veloppements-d%C3%A9monstrateurs-logiciels) développé au LCOMS.

Robot humanoïde contrôlé par neuro-feedback pour renforcer l'attention dans le trouble du spectre de l'autisme

Parisa Nahaltahmasebi¹ et Salvatore Anzalone²
¹ISIR-UPMC
²Equipe THIM CHArt (EA 4004), Université Paris 8, Saint-Denis, France

parissa.nahal@gmail.com

Le système est un prototype conçu pour renforcer l'attention d'un enfant vers une activité conjointe, grâce aux retours offerts par un petit robot humanoïde, NAO. Une mesure de l'attention vers la tâche est récupérée grâce à l'exploitation en temps réel des signaux EEG. Parmi les choix possibles taches, faire l'attention à un film ou un dessin animé a été choisie comme un simple, stéréotypé, activité conjointe que l'enfant peut raisonnablement pouvoir effectuer. Le petit robot humanoïde, en tant que compagnon proactif de l'enfant, reviendrait de commentaires en cas de panne de l'attention, dans le but de ré-induire l'attention à l'activité commune.

Mots-clés : Robots sociaux, neuro-feedback, trouble du spectre de l'autisme, EEG, attention, activités conjointes.

S-Phone : un logiciel pour l'apprentissage de la lecture du français

Patrick Tremblay¹, Jacques Langevin², Pierre Bourque¹ Ecole de Technologie Supérieure de Montréal, Québec, Canada ²Groupe Défi Accessibilité, Université de Montréal, Québec, Canada

courriel@ptremblay.com

S-Phone est un logiciel de soutien phonétique automatisé et dégressif pour les personnes dyslexiques, allophones ou présentant des incapacités intellectuelles. Intégré au logiciel Microsoft Word, en tant que module d'extension, il a pour objectif de faciliter l'apprentissage de la lecture chez les personnes en difficulté d'apprentissage.

S-Phone a été conçu et développé dans le cadre d'une maîtrise en génie réalisée à l'École de technologie supérieure (ÉTS) de Montréal en partenariat avec des chercheurs du Groupe Défi Accessibilité (GDA) du Département de psychopédagogie et d'andragogie de l'Université de Montréal.

Mots-clés: apprentissage de la lecture, facteurs d'obstacles, technologies, accessibilité cognitive.

Le bateau blanc avance sur l'eau.

Exemple de soutien phonétique

UniArt

Marie Carpio Fondatrice d'UniArt

mcarpio.uniart@gmail.com

UniArt vise à améliorer l'inclusion sociale des personnes en situation de handicap grâce à l'art. Pour cela, il coordonne le dialogue entre les différents acteurs locaux (mairie, associations, institutions culturelle) pour créer des parcours culturels adaptés et inclusifs. Les trois objectifs d'UniArt sont de fédérer, valoriser et sensibiliser aux problématiques liées au handicap (https://www.mcarpio-uniart.com/).

Mots-clés: handicap, accessibilité, culture, inclusion.

Sponsors

(JCJC'2017 et CHT'2017)



1 Les missions de la CNSA

La Caisse nationale de solidarité pour l'autonomie (CNSA) est un établissement public créé par la loi du 30 juin 2004. Mise en place en mai 2005, la CNSA est chargée de :

- Participer au financement de l'aide à l'autonomie des personnes âgées et des personnes handicapées : contribution au financement de l'allocation personnalisée d'autonomie et de la prestation de compensation du handicap, concours au financement des maisons départementales des personnes handicapées, des conférences des financeurs, des résidences-autonomie, affectation des crédits destinés aux établissements et services médico-sociaux, soutien à la modernisation et à la professionnalisation des services d'aide à domicile.
- Garantir l'égalité de traitement sur tout le territoire quels que soient l'âge et le type de handicap, en veillant à une répartition équitable des ressources et en apportant un appui technique aux acteurs locaux pour favoriser l'harmonisation des pratiques.
- Assurer une mission d'animation de réseau, d'appui et d'harmonisation des pratiques.
- Assurer une mission d'information des personnes âgées, des personnes handicapées et de leurs familles.
- Faciliter l'accès aux actions de prévention et aux aides techniques.
- Assurer un rôle d'expertise et de recherche sur toutes les questions liées à l'accès à l'autonomie, quels que soient l'âge et l'origine du handicap.

Elle gère ainsi un budget de plus de 25 milliards d'euros.

La CNSA est donc à la fois une « caisse » chargée de répartir les moyens financiers et une « agence » d'appui technique.

En dix ans, ses missions ont été élargies progressivement. Deux lois sont particulièrement importantes : la loi sur l'égalité des droits et des chances des personnes handicapées du 11 février 2005 et la loi d'adaptation de la société au vieillissement du 28 décembre 2015. Elles ont largement étendu le champ d'action de la CNSA, consacrant ainsi son statut de « maison commune de l'autonomie. ».

D'autres textes ont introduit quelques évolutions : les lois de financement de la sécurité sociale pour 2008 (mission d'aide à l'investissement), 2010 (analyses des coûts des établissements et

2 Assurer un rôle d'expertise et de recherche sur toutes les questions liées à l'accès à l'autonomie

La CNSA conduit une politique de soutien financier à la recherche, aux études et aux actions innovantes dans l'objectif d'améliorer et de développer les solutions d'accompagnement apportées aux personnes âgées et aux personnes handicapées. Cette action scientifique permet de mieux connaître les publics, leurs besoins et d'explorer de nouvelles formes d'accompagnement de la perte d'autonomie. Grâce à une meilleure connaissance des publics, au développement de nouveaux outils et de nouvelles pratiques, la recherche éclaire la prise de décision.

La CNSA mobilise pour cela plusieurs leviers : les appels à projets de recherche, des partenariats d'études et de recherche, le soutien aux actions innovantes.

3 Les appels à projets de recherche

Pour les appels à projets de recherche, la Caisse s'associe à l'Agence nationale de la recherche (ANR), l'Institut de recherche en santé publique (IReSP) et, depuis 2012, à la Fondation maladies rares. Ces partenaires administrent les appels, organisent et mettent en œuvre la procédure d'évaluation scientifique des projets. La CNSA intervient comme financeur principal ou complémentaire. Elle participe à la rédaction du texte de l'appel à projets et à la sélection des projets.

Par la passé, la CNSA a également cofinancé des projets de nouvelles technologies au service de l'autonomie.

4 Le soutien aux actions innovantes

Les porteurs de projets peuvent aussi se tourner vers la CNSA pour solliciter une subvention pour la réalisation d'actions innovantes, d'expérimentations, le développement d'outils métiers ou destinés aux usagers, ainsi que des colloques.

Depuis 2015, la CNSA propose aux porteurs d'actions innovantes de candidater à un appel thématique annuel. Le premier portait sur l'économie circulaire des aides techniques. Le dernier en date vise à observer comment nos voisins européens accompagnent les personnes en situation de handicap ou de perte d'autonomie.

Enfin, la Caisse soutient régulièrement la tenue de colloques et de rencontres notamment pour favoriser les échanges entre chercheurs, acteurs « de terrain » et personnes concernées. C'est par ce biais que la CNSA soutient le colloque Jeunes chercheuses-Jeunes chercheurs organisé par l'Institut fédératif de recherche sur les aides techniques pour personnes handicapées. Cet événement intéresse la CNSA à double titre à la fois parce qu'il met en avant de jeunes chercheurs, et parce qu'il s'intéresse aux technologies d'assistance pour les personnes en situation de handicap et les personnes âgées.

Pour en savoir plus sur la mission de soutien à la recherche et aux actions innovantes de la CNSA ou pour participer aux appels à projets, consultez le site www.cnsa.fr.



Acteur de référence de la protection sociale, Humanis agit en retraite complémentaire, prévoyance, santé et épargne.

Au travers d'une politique d'Action sociale volontariste, Humanis soutient et accompagne les salariés, retraités ou leurs familles de ses entreprises adhérentes confrontés à tout type de situation de handicap.

Par son engagement, Humanis entend ainsi contribuer à atténuer les conséquences du handicap, améliorer la qualité de vie et rendre possible l'accès à tous les actes de la vie citoyenne aux personnes en situation de handicap, et favoriser ainsi leur inclusion.

Ces dernières années, Humanis a soutenu de nombreux projets tels que :

- Le Free Handi'se Trophy: raid inter-entreprises en vélo tandem adapté et canoé de 8 jours réunissant des équipes de quatre personnes, deux valides et deux en situation de handicap. Cette année, 19 équipes dont 3 équipes Humanis se sont élancées de Strasbourg pour relier Lille.
- Challenge Solitudiant : sélection de projets élaborés par des étudiants et permettant de développer l'activité des ESAT-Entreprises Adaptées en France.
- Fondation Falret: aide au financement d'une recherche-action portant sur la stigmatisation dont sont victimes les personnes souffrant de troubles psychiques notamment dans le monde de l'entreprise.





Index des auteurs

A Abellard, Alexandre 51 Abellard, Patrick 75, 128 Andriantseheno, Mahéry 132 Anzalone, Salvatore 134 Archambault, Dominique 81, 125, 127 Azevedo, Christine 131 B	Devigne, Louise 105 Durampart, Michel 51 F Fattal, Charles 131 Fodé, Pascale 11 Fontugne, Elodie 51
Babel, Marie 105 Bartalucci, Karine 128 Bascou, Joseph 11 Baudry, Aline 105 Bellah Loued, Wathek 126 Bellier, Jean-Baptiste 132 Ben Aouf, Toutou 125 Benassar, Alexandre 130 Berger-Vachon, Christian 87 Bier, Nathalie 129 Bonavero, Yoann 23	G Gallego, Stéphane 87 Gallien, Philippe 105 Garnier, Michel 75 Ge, Yingying 59 Giroux, Sylvain 129 Golliot, Julie 51 Guerin, Clément 126
Bonnet, Xavier 11 Bourhis, Guy 133 Bourque, Pierre 135	Haddadi, Camil 127 Herrera, Cathy 51 Huchard, Marianne 23
C Carpio, Marie 136 Castanier, Carole 33 Chassan, Clémence 125 Chauvin, Christine 126 Courtin, Régis 113, 117 Cucis, Pierre-Antoine 87	J Jdidi, Imen 127 Jean-Louis, Sébastien 132 K Kiener, André 75, 128

L	P
Langevin, Jacques 135	Pasteau, François 105
Le Scanff, Christine 33	Perrot, Alexandra 33
Lieb, Léopold 126	Petroiu, Nicoleta 97
Loiret, Isabelle 11	Pigot, Hélène 126, 129
Lopez Fontana, Iréné 33	Pillet, Hélène 11
Lorrain, Dominique 126	Pino, Pierre 133
	Porcher, Amandine 126
M	Portalier, Serge 97
	Pousset, Pascale 125, 127
Martinet, Noel 11 Melgarejo, Baptiste 130	Proust, Dominique 117
Meynard, Michel 23	
Monmarché, Nicolas 1	R
Morel de Villepoix, Adrien 65, 132	Rebib, Smail 133
Morei de Vinepoix, Adrien 65, 152	Rebib, Sinan 155
N	S
Nahaltahmasebi, Parisa 134	Seixas Pereira, Leticia 81
Nouviale, Florian 105	Sijobert, Benoît 131
	Supatto, Jennifer 125
	1
	Т
	Thorel, Armand 127
	Timsit, Michèle 51
	Tremblay, Patrick 135
	Truy, Eric 87
	114, 1110
	V
	Villa, Coralie 11
	vina, Corance 11



Institut Fédératif de Recherche sur les Aides Techniques pour les personnes Handicapées

Association loi 1901

N° de parution : 20080045, JO 11 nov. 2008

ld. WALDEC: W931006165

SIRET: 519 490 130 00019, Code APE 9499Z IBAN FR76 4255 9000 6141 0200 1298 517

http://ifrath.fr