



HAL
open science

Contributions à la mise en oeuvre de nouvelles techniques d'interactions pour l'assistance à la personne

Isabelle Pecci

► **To cite this version:**

Isabelle Pecci. Contributions à la mise en oeuvre de nouvelles techniques d'interactions pour l'assistance à la personne. Informatique [cs]. Université de Lorraine; École doctorale IAEM Lorraine - Informatique, Automatique, Électronique - Électrotechnique, Mathématiques de Lorraine, 2019. tel-02385609

HAL Id: tel-02385609

<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-02385609v1>

Submitted on 29 Nov 2019

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

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

Contributions à la mise en œuvre de nouvelles techniques d'interactions pour l'assistance à la personne

Mémoire déposé et présenté publiquement le 26 Novembre 2019

Pour l'obtention d'une

**Habilitation à Diriger les Recherches
de l'Université de Lorraine**
(mention informatique)

par

Isabelle PECCI

Composition du jury

- Président :* Martin Hachet, Directeur INRIA, LABRI, Bordeaux
- Rapporteurs :* Nadine Couture, Professeur des universités, ESTIA, Bidart
Christophe Kolski, Professeur des universités, LAMIH, Valenciennes
Philippe Palanque, Professeur des universités, IRIT, Toulouse
- Examineurs :* Gaëlle Calvary, Professeur des universités, LIG, Grenoble
Martin Hachet, Directeur INRIA, LABRI, Bordeaux
Benoît Martin, Professeur des universités (parrain scientifique), LCOMS, Metz

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu les trois rapporteurs de mon HDR, Nadine Couture, Christophe Kolski et Philippe Palanque pour avoir accepté d'évaluer mes activités ainsi que les examinateurs ayant accepté de faire partie de mon jury : Gaëlle Calvary, Martin Hachet et Benoît Martin.

Je tiens à remercier doublement Benoît Martin en tant que parrain scientifique et chercheur que j'ai pu côtoyer pendant toutes ces années. Merci pour les nombreux échanges pendant nos réunions et merci d'avoir été rarement d'accord avec mes idées, car cela nous a toujours permis d'avancer, de débattre de longs moments et d'aboutir toujours à des compromis bien meilleurs que les propositions initiales.

Un grand merci à Imed Kacem, le directeur de mon laboratoire, qui a cru en moi et qui m'a donné la motivation pour passer mon habilitation à diriger les recherches. Il a su jouer son rôle de directeur. Parmi les trois laboratoires que j'ai connus, je suis vraiment fière d'appartenir au LCOMS créé par Imed Kacem, car c'est dans ce laboratoire dans lequel ma thématique, l'IHM (Interaction Humain-Machine) a pu se développer le plus et en tant que chercheur j'ai pu vraiment être stimulée dans les prises de responsabilités et encadrements scientifiques.

Je n'oublierai pas non plus tous les étudiants qui m'ont permis d'approfondir mes recherches et idées. Qu'il s'agisse des doctorants ou des étudiants de Master, je les remercie chaleureusement. J'ai apprécié travailler avec eux. Je ne les citerai pas de peur d'en oublier, mais ils se reconnaîtront.

Enfin, je terminerai par remercier mon mari, Vincent, et mes enfants, Alexandre et Emilie, qui m'ont supportée pendant la rédaction de ce document. Je pense tout particulièrement aussi à mes parents et mon grand frère Alain, qui m'ont inspirée dans certains choix de recherche. Sans eux, je n'aurai jamais pris conscience des besoins et des difficultés rencontrées par les personnes atteints d'aphasie et leur famille. J'espère de tout cœur que les travaux engagés pourront leur profiter.

Table des matières

Introduction	9
1.1. Mon choix de recherche	10
1.2. Enjeux et objectifs.....	11
1.3. Organisation du mémoire.....	11
Chapitre 1 <i>Techniques d'interaction pour les personnes déficientes visuelles</i>	13
1.1. Motivations.....	14
1.2. Démarche	14
1.2.1. Comprendre l'haptique.....	14
1.2.2. Connaître les personnes déficientes visuelles	16
1.2.3. Disposer d'une équipe de recherche	17
1.3. Approche scientifique	18
1.3.1. Définition du retour haptique.....	18
1.3.2. Projet St Eucaire : approche exploratoire	21
1.3.3. Projet MICOLE : approche expérimentale.....	21
1.4. Résultats marquants	22
1.4.1. Le retour de force pour aider à l'apprentissage de la géométrie	23
1.4.1.1. Apprentissage chez les personnes déficientes visuelles	23
1.4.1.2. Observation à l'école : comprendre les méthodes classiques	24
1.4.1.3. Expérimentation au laboratoire : potentiel du retour haptique	25
1.4.2. Le langage d'interaction PICOB.....	26
1.4.2.1. Motivations	26
1.4.2.2. Définitions de l'interaction PICOB.....	27
1.4.2.3. Expérimentations	28
1.4.3. Le langage d'interaction Tactons	29
1.4.3.1. Motivations	29
1.4.3.1. Définitions	30
1.4.3.2. Expérimentations	31
1.4.3.3. Exemple d'applications	33
1.4.4. Application aux schémas de circuits électriques.....	35
1.4.4.1. Motivations	35
1.4.4.2. Usage de la multimodalité	35
1.4.4.3. Localiser les utilisateurs	36
1.4.4.4. Reconnaître un composant	36
1.4.4.5. Reconnaître la forme du circuit.....	37
1.4.4.6. Reconnaître les directions possibles	38
1.4.4.7. Reconnaître les zones déjà parcourues.....	38
1.4.4.1. Expérimentation.....	38
1.5. Conclusion	41
Chapitre 2 <i>Technique d'entrée de texte en situation dégradée</i>	45

2.1.	Motivations	46
2.2.	Démarche	46
2.2.1.	Comprendre la notion de dégradation.....	46
2.2.1.1.	La situation de référence.....	46
2.2.1.2.	Les facteurs de dégradation	47
2.2.2.	Identifier les utilisateurs.....	48
2.2.3.	Disposer d'une équipe de recherche solide	48
2.3.	Approche scientifique	49
2.4.	Résultats.....	49
2.4.1.	État de l'art des claviers logiciels	49
2.4.1.1.	Taxonomie	49
2.4.1.2.	Les claviers réduits.	51
2.4.2.	Le clavier WeSlide	54
2.4.2.1.	Choix du type de clavier	54
2.4.2.2.	Extension de WeGliss : le clavier WeSlide	59
2.5.	Conclusion	63
Chapitre 3 <i>Techniques d'interaction pour les professionnels de Santé.....</i>		65
3.1.	Motivations	66
3.2.	Démarche	66
3.2.1.	Comprendre les verrous scientifiques des lunettes électroniques.....	66
3.2.2.	Connaître les utilisateurs.....	68
3.2.3.	Disposer d'une équipe de recherche	68
3.3.	Approche scientifique	69
3.3.1.	Le projet eGlasses	69
3.3.2.	L'après eGlasses	70
3.4.	Résultats.....	72
3.4.1.	Technique k-Fisheye.....	72
3.4.1.1.	Cas d'usage.....	73
3.4.1.1.	Techniques de visualisation pour les grands espaces de données.....	73
3.4.1.1.	Définition de la vue K-Fisheye	74
3.4.2.	Espace de conception.....	77
3.4.3.	Techniques de pointage	82
3.4.3.1.	Motivations	82
3.4.3.2.	Présentation des techniques de pointage étudiées	83
3.4.3.3.	Expérimentation	85
3.4.4.	Technique d'entrée de texte TEXTile	86
3.4.4.1.	Motivations	86
3.4.4.2.	Définition de la technique d'interaction TEXTile	87
3.4.4.3.	Expérimentation	89
3.5.	Conclusion	90
Chapitre 4 <i>Projet de recherche</i>		93
4.1.	Introduction.....	94

4.2.	Interface adaptative : le projet GICA	94
4.2.1.	Motivation	94
4.2.1.	Problématique du projet GICA.....	94
4.2.2.	Point de vue de l'Informatique Décisionnel.....	95
4.2.3.	Résultats attendus	96
4.3.	Rééducation	97
4.3.1.	Rééducation pour les personnes aphasiques : AphaTEC	97
4.3.1.1.	Motivation.....	97
4.3.1.2.	Approche scientifique	98
4.3.2.	Éducation thérapeutique pour les personnes atteints d'ostéoporose : le projet THERAPEUTIC	100
4.3.2.1.	Motivations	100
4.3.2.2.	Objectifs	101
4.4.	Acceptation du handicap visuel	101
4.4.1.	Le projet CROISADE.....	101
4.4.1.1.	Motivations	101
4.4.1.2.	Contexte.....	102
4.4.1.3.	Problématique et objectifs.....	102
4.4.1.4.	Méthodologie.....	104
4.4.2.	Le projet Techno'Guide.....	104
4.4.2.1.	Motivations	104
4.4.2.2.	Contexte.....	105
4.4.2.3.	Problématique et objectifs.....	106
4.4.2.4.	Méthodologie.....	107
4.5.	Conclusion	109
Chapitre 5 Synthèse des activités d'enseignement, administratives et de recherche		
111		
5.1.	Synthèse des activités d'enseignement	112
5.1.1.	Présentation.....	112
5.1.2.	Animations pédagogiques.....	112
5.1.2.1.	Responsabilités pédagogiques	112
5.1.2.2.	Implication dans l'offre de formation	113
5.2.	Implication dans la vie administrative	114
5.3.	Synthèse des activités de recherche	114
5.3.1.	Présentation chronologique	114
5.3.2.	Encadrements d'étudiants	117
5.3.2.1.	Co-direction de thèse	117
5.3.2.2.	Thèses de doctorat co-encadrées	117
5.3.2.3.	Autres encadrements sur des sujets de recherche	118
5.3.3.	Animation recherche et rayonnement scientifique	120
Conclusion		123
Bibliographie		127
Liste des publications		139

Introduction

1.1. Mon choix de recherche

Le présent document retrace plus d'une vingtaine d'années de recherche. Bien que certains chercheurs naviguent entre les thématiques, mon choix a toujours été clair : travailler dans le domaine de l'Interaction Humain-Machine (IHM). Je reprendrai la définition donnée en 1992 par Hewett et al. [1] dont voici une traduction :

« L'Interaction Homme-Machine est la discipline qui se consacre à la conception, l'évaluation et la mise en œuvre de systèmes informatiques interactifs pour l'usage humain ainsi qu'à l'étude des phénomènes majeurs qui les entourent »

Cette définition met en avant l'utilisateur. Elle montre qu'un système interactif est avant tout conçu pour un humain. Il faut donc en tenir compte. Le système interactif ne se réduit pas à un ensemble de services fonctionnels. Dans cette définition, on ne parle pas de performances. C'est la notion d'assistance à l'utilisateur qui est mise en avant et c'est dans ce sens que je conçois mes travaux de recherche en IHM. Un système interactif n'est pas juste là pour proposer des services. Il doit proposer des services utiles et utilisables par l'humain.

Un deuxième point intéressant dans cette définition, c'est le spectre d'intervention dans le processus de création d'un système interactif. L'IHM intervient à tous les niveaux :

- Au début, pour aider à la spécification du système. Des techniques propres à l'IHM sont mises en place pour comprendre les utilisateurs et proposer des solutions qui leur correspondent mieux. On parle de conception centrée utilisateurs. Au cours de mes recherches, j'adopte toujours cette approche pour m'approprier le contexte d'usage et mieux cibler les attentes des utilisateurs.
- Pendant la mise en œuvre du système en proposant des solutions technologiques innovantes pour répondre aux besoins de l'utilisateur. Analyser les besoins des utilisateurs m'a toujours intéressée, mais ma formation en informatique me guide aussi du côté de l'implémentation. C'est le cœur de mes travaux de recherche. Pour proposer des systèmes interactifs innovants, j'ai toujours cherché à proposer de nouvelles techniques d'interaction. Je m'appuie sur la définition de Nigay et al. qui définit une technique d'interaction ou modalité comme un couple $\langle d, l \rangle$ où d désigne le dispositif et l le langage d'interaction utilisé pour traduire l'information transmise par d [2]. À chaque projet qui a traversé ma route, j'ai donc cherché à trouver le bon couple $\langle d, l \rangle$. Les verrous scientifiques d'une technique d'interaction peuvent se situer au niveau du dispositif d lui-même et au niveau du choix du langage l . Pour ma part, mes compétences se situent plus au niveau du côté langage, même si je peux apporter mon expérience pour aider à la spécification d'un nouveau dispositif.
- Après la réalisation du système, pour évaluer le potentiel et la satisfaction des utilisateurs. Lorsqu'on spécifie un système, même en adoptant une démarche centrée utilisateur, rien ne garantit une adhésion des utilisateurs aux nouveautés implémentées. Une des raisons évidentes est qu'on ne peut pas considérer tous les utilisateurs potentiels dans la phase de conception. Ceci est encore plus critique dans des domaines où les utilisateurs visés ont un vécu et donc une expérience différente. C'est le cas par exemple des personnes déficientes visuelles. Aujourd'hui, avoir un handicap n'est pas le seul facteur qui rend la conception difficile et les tests nécessaires. En effet, l'accès aux nouvelles technologies ces dernières années a élargi considérablement le profil des utilisateurs : toutes les catégories socio-professionnelles, les femmes autant que les hommes, toutes les tranches d'âges, etc., sont concernées. Ainsi, j'ai toujours tenu à effectuer des tests des nouvelles techniques d'interaction.

La définition de l'IHM met en évidence un dernier point essentiel : la variabilité qui entoure l'utilisateur. À travers le mot « phénomènes », c'est la notion de contexte qui conditionne l'utilisateur dans la manipulation du système. Le challenge est donc de proposer des solutions qui tiennent compte de tous les facteurs de variabilité qui risquent d'influencer l'utilisateur dans ses interactions. Un exemple de facteur qui n'a cessé de prendre de l'importance depuis une dizaine d'années : la mobilité. Interagir en situation de mobilité a certes ouvert les possibilités d'usage et l'accès à un plus vaste panel d'utilisateurs, mais cela a aussi complexifié les techniques d'interaction à mettre en œuvre, car la métaphore du bureau n'est plus adaptée à ce contexte. Derrière la notion de variabilité se cache un verrou scientifique en IHM : l'adaptation des interfaces au contexte.

Pour traiter tous ces points, le domaine de l'IHM ne peut pas être réduit à un seul type d'expertise. C'est un domaine à la croisée de plusieurs disciplines : les sciences de l'homme et de la nature (psychologie, sociologie, physiologie, anthropologie), l'ingénierie (informatique, électronique, mécanique, optique) et design (design industriel, arts graphiques, typographie, architecture). La communauté IHM est par conséquent une communauté de chercheurs très

Introduction

ouverte et riche en expérience. C'est une force et en même temps une complexité supplémentaire, car les visions, les attentes et le vocabulaire des chercheurs en IHM qui travaillent ensemble ne sont pas forcément les mêmes.

Le challenge aujourd'hui pour définir de nouvelles techniques d'interaction, ce sont certes tous les points évoqués précédemment, mais c'est aussi le fait que nous sommes envahis par les nouvelles technologies qui sont de plus en plus complexes, mais qui offrent un potentiel très vaste en terme d'interactions.

1.2. Enjeux et objectifs

En partant du constat que certains utilisateurs ne sont pas satisfaits des systèmes interactifs actuels alors que les nouvelles technologies ne cessent de voir le jour, l'enjeu est de mieux exploiter le potentiel des technologies pour satisfaire des utilisateurs de plus en plus contraints, notamment soumis à des contextes très variables et variés.

Mon objectif est de trouver des techniques d'interaction innovantes permettant d'aider les utilisateurs à réaliser leurs tâches. Le compromis est de définir en fonction du contexte le dispositif à utiliser, puis de proposer un langage d'interaction qui exploite au mieux les capacités du dispositif. Mon champ d'action est à la fois sur la saisie des informations i.e. les techniques d'interaction en entrée, et la présentation des informations i.e. les techniques d'interaction en sortie.

1.3. Organisation du mémoire

Mon mémoire s'articule en cinq chapitres. Les trois premiers chapitres représentent mes travaux de recherche majeurs, soit trois ans après ma thèse jusqu'à aujourd'hui (cf. Fig. 1). J'ai choisi de ne pas détailler mon activité juste après ma thèse, car ils étaient certes en IHM, mais très liés au domaine de la CAO (Conception Assistée par Ordinateur) comme lors de ma thèse. C'est après 2000 que j'ai choisi d'élargir mon champs d'activités à l'IHM au sens général. Au début de chacun de ces chapitres, je montre ce qui a motivé ma recherche, puis comment je me suis donnée les moyens pour travailler dans de bonnes conditions, puis je décris l'approche scientifique qui a permis de trouver des solutions innovantes.

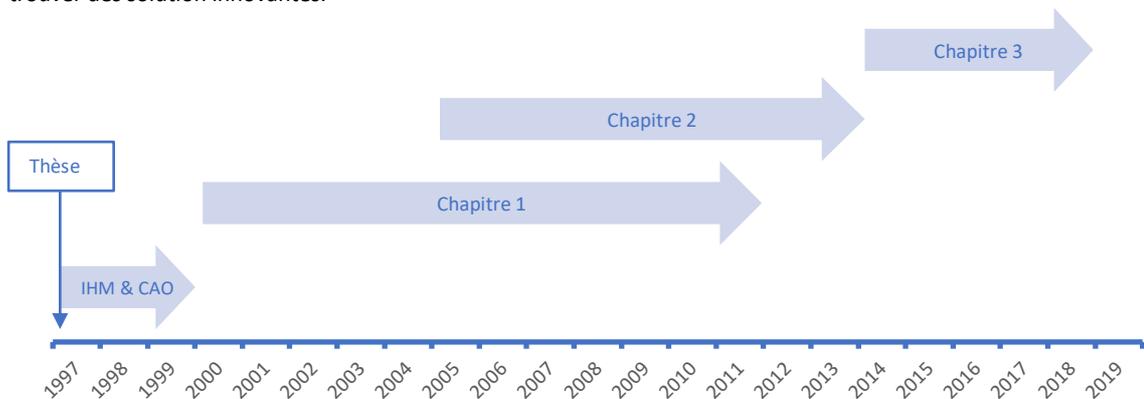


Fig. 1. Positionnement des trois premiers chapitres dans le temps.

Le premier chapitre représente un axe fort de mon activité de recherche puisqu'il m'a occupée près de douze ans (de 2000 à 2012) : les techniques d'interaction pour des utilisateurs déficients visuels. Je présenterai les deux projets qui ont servi de support à cette recherche : le projet St Eucaire, projet exploratoire qui a été le déclencheur pour poursuivre des recherches plus ambitieuses avec des enfants déficients visuels et le projet MICOLE, qui a permis d'enrichir mon expérience pour travailler avec des personnes à besoins spécifiques d'une part et pour voir le potentiel de l'haptique qui permet la sensation du toucher et la sensation de manipulations virtuelles.

Le second chapitre traite de techniques d'interaction en entrée cette fois. J'ai opéré un virage à ce moment pour cibler d'autres catégories d'utilisateurs : tout d'abord des enfants voyants, puis des personnes âgées. Ce chapitre décrit mes travaux autour de l'entrée de texte. Cette activité m'a occupée environ huit ans à partir de 2005.

Le troisième chapitre décrit mes dernières activités de recherche depuis 2014. Elles traitent de l'usage des lunettes électroniques dans le domaine de la santé. Ce chapitre présente différentes techniques d'interaction en entrée et en

sortie permettant d'aider un médecin à manipuler un dossier patient électronique. Contrairement aux chapitres précédents, le dispositif utilisé pour définir les nouvelles techniques d'interaction est imposé, car ce travail s'est intégré au projet eGlasses centré sur ce type de dispositif.

Le quatrième chapitre décrit mon projet de recherche à plus ou moins long terme. Quant au cinquième chapitre, il montre l'ensemble de mes activités depuis plus de vingt ans tant sur le plan pédagogique, qu'administratif et que recherche.

Chapitre 1

Techniques d'interaction pour les personnes déficientes visuelles

1.1. Motivations

Travailler dans le domaine de la déficience visuelle n’était pas la suite logique après ma thèse. J’avais jusque-là œuvré dans le domaine de la CAO en simplifiant le processus de définition du dialogue homme-machine dans une application. Mon but était d’aider n’importe quel concepteur de système de CAO, avec ou sans expérience dans l’IHM, à décrire simplement les fonctionnalités attendues et de générer une interface adaptée [IP33]. Après ma thèse, j’ai continué à travailler dans l’amélioration des techniques d’interaction dans les systèmes de CAO en proposant de techniques pour aider à la sélection d’objets en CAO [IP30] ou pour concevoir des objets 3D par esquisse [IP8]. Toujours intéressée par les nouvelles technologies, c’est à cette période que j’ai découvert l’haptique lors d’une visite au salon de la CAO et de la CFAO à Paris, le salon MICAD. J’ai pu tester un matériel haptique et très vite j’ai été très intéressée par son potentiel. Avec ce type de matériel, on pouvait enfin offrir à l’utilisateur d’autres interactions que celles données classiquement visuellement en lui permettant de toucher et manipuler les objets virtuels.

Prenant conscience que rester dans le domaine de la CAO ne me permettrait pas d’exploiter au mieux les possibilités offertes par ce type de matériel, j’ai choisi d’ouvrir mon champ d’action. Ma motivation première étant toujours d’aider les utilisateurs à interagir, viser un public déficient visuel m’est apparu comme une évidence. À l’époque, les applications proposées étaient surtout visuelles et peu développées avec du retour sonore. Il s’agissait donc d’un public en manque de techniques pour interagir, très motivé et dont l’expérience dans le toucher pouvait être très utile pour des solutions haptiques. Cibler ce public n’était pas réducteur, bien au contraire, car il permettait :

- d’aller plus en profondeur dans les solutions à proposer ;
- de permettre ensuite une migration vers un public plus hétérogène ;
- d’ouvrir l’accès aux personnes déficientes visuelles à des applications jusqu’alors réservées aux voyants ;
- de permettre à des publics variés de collaborer sur les mêmes applications et réduire les différences entre les utilisateurs.

Un point essentiel dans mes recherches est de favoriser l’intégration dans notre société des personnes déficientes visuelles. Cela passe par l’acceptation de son handicap. Un moyen d’agir est de leur montrer qu’elles peuvent utiliser les mêmes outils que des personnes valides : ne pas se sentir différent est important. Un moyen d’y arriver est de proposer de nouvelles techniques d’interactions qui les aideront à utiliser ces outils.

Depuis 2000, je n’ai cessé de m’intéresser à cette thématique de près ou de loin, mais la période forte que je présente dans ce chapitre concerne principalement celle allant jusqu’à 2009. Je vais montrer toutefois la démarche globale de recherche que j’ai adoptée pour me donner les moyens de réorienter ma recherche et de la poursuivre dans les meilleures conditions possibles. Je montre ensuite les résultats les plus marquants jusqu’en 2009.

1.2. Démarche

Pour réussir dans ce nouvel axe de recherche, il a fallu agir sur plusieurs points stratégiques :

- se donner les moyens de mieux comprendre l’haptique ;
- avoir une meilleure connaissance des utilisateurs visés : les personnes déficientes visuelles ;
- disposer d’une équipe de recherche solide.

1.2.1. Comprendre l’haptique

Il est toujours facile de comprendre ce qu’est un retour visuel ou un retour sonore. Par contre, il est beaucoup plus difficile de comprendre le retour haptique sans l’avoir testé. Pour avoir fait beaucoup de démonstrations sur l’haptique lors de salons et forum pour la fête des sciences ou pour faire découvrir nos formations, j’ai pu constater l’émerveillement ou la surprise des utilisateurs qui prenaient en main un périphérique haptique.

Pour monter en compétence dans le domaine de l’haptique, il fallait acquérir du matériel. J’ai donc déposé des demandes de subvention auprès de mon université et des collectivités. Cela m’a permis d’acheter un PHANToM Desktop (cf. Fig. 1. 1), le matériel que j’avais pu tester un peu après ma thèse. Notre équipe n’avait pas au départ vocation à créer un nouveau matériel haptique puisque j’étais au début de ma carrière dans un laboratoire d’informatique. Il était donc important de ne pas rester dépendant d’un périphérique. C’est ainsi qu’au fil des années, notre équipe en a acquis d’autres : des PHANToM Omni, des Novint Falcon, des souris Wingman Force Feedback et des souris VTPlayer (cf. Fig. 1. 1). Certains ont été financés grâce aux opportunités que j’ai su saisir.

Chapitre 1 – Techniques d’interaction pour les personnes déficientes visuelles



Fig. 1. 1. Les périphériques haptiques acquis.

Ces périphériques m’ont permis de comprendre un peu mieux le potentiel offert par l’haptique, mais ce n’était pas suffisant, surtout devant la prolifération des périphériques haptiques. Il fallait pouvoir en tester plus : en allant à des conférences dédiées à l’haptique et en visitant des laboratoires qui expérimentaient de nouveaux périphériques (cf. Fig. 1. 2). En participant à la conférence EuroHaptics 2006 [IP23], j’ai eu l’occasion de tester plusieurs autres périphériques : FCS-HapticMASTER de FCS Control Systems, Virtuose du CEA, FRS-Forehead Retina System de l’Université de Tokyo. En 2009, lors d’une visite au CEA, j’ai pu tester un de leur prototype : le VITAL. Lors d’une visite d’une semaine à Montréal chez Aude Dufresne (au Centre Interuniversitaire des Technologies Émergentes de l’Université de Montréal), j’ai eu l’occasion d’expérimenter le système MaskGen qui permettait de coder des images au format tactile et audio avec le périphérique STReSS (conçu à l’Université de Mac Gill) qui permettait aux personnes non-voyantes d’explorer les images ainsi codées.



Fig. 1. 2. Les périphériques haptiques testés, non acquis.

J’ai défini ma propre taxonomie des périphériques haptiques et depuis 2009, je la maintiens à jour dans le cadre d’un cours à destination des étudiants de Master Informatique, mais aussi pour pouvoir à tout moment relancer des travaux sur l’haptique.

J'ai intégré différents réseaux de chercheurs. Cela m'a donné une expérience sur l'utilité d'y participer. Elle s'est avérée parfois très fructueuse, comme mon adhésion à l'AFIHM (Association Francophone d'Interaction Homme-Machine) depuis 2001. J'ai pu approcher la communauté francophone en IHM et connaître les acteurs francophones en IHM et en particulier sur l'haptique. J'ai également participé à l'AS-Haptique en 2004, qui m'a permis d'avoir une première vision de l'haptique par d'autres chercheurs francophones. Malheureusement ce réseau n'a pas perduré. Un peu plus tard, en 2012, j'ai rejoint le consortium TACT avec l'appel DEFISENS du CNRS, qui avait pour but d'animer la recherche autour de l'évaluation et de la suppléance personnalisée du handicap tactile. Nous avons identifié les verrous scientifiques, mais n'étant pas dans un laboratoire CNRS, mon équipe a très vite été écartée de ce consortium.

L'expertise que j'ai pu acquérir sur l'haptique s'est concrétisée par la rédaction d'une fiche sur les interactions haptiques pour le CEN STIMCO (Centre d'Expertise National sur la Stimulation Cognitive) [IP49].

1.2.2. Connaître les personnes déficientes visuelles

L'humain est au cœur de ma recherche et pour en tenir compte il doit rester une source d'informations clés. J'ai toujours adopté une démarche centrée utilisateurs. Mon but est dans un premier temps de faire un état des lieux des usages actuels, puis d'identifier les points d'amélioration possibles. Ensuite, c'est avec les utilisateurs que je teste mes propositions afin de les rendre encore plus adaptées.

Il est très important de s'approprier le contexte d'usage pour pouvoir proposer des solutions qui répondront aux besoins et d'identifier les besoins que les utilisateurs n'arrivent pas forcément à identifier. C'est dans l'insatisfaction des solutions existantes qu'émergent souvent les besoins. Dès le début de ma recherche sur la définition de nouvelles techniques d'interactions haptiques pour les personnes déficientes visuelles, j'ai cherché à contacter ce public spécifique. Comme je visais au début le domaine de l'éducation, je me suis tournée dans un premier temps vers les écoles et centres spécialisés :

- L'école St Eucaire à Metz qui accueille des élèves de la classe élémentaire. Les élèves sont intégrés dans les classes avec des élèves voyants et suivent parfois des cours dédiés.
- La cité scolaire Robert Schumann à Metz, qui accueille des collégiens et des lycéens dans des classes normales. Des aides éducateurs les assistent pour adapter les supports de cours et un psychomotricien intervient pour les aider à utiliser les outils dédiés et la canne blanche dans l'établissement.
- La cité scolaire George De La Tour à Nancy, qui accueille des lycéens et des collégiens dans des classes normales. Une équipe d'enseignants volontaires et d'aides éducateurs les assistent pour adapter les supports de cours.
- Le centre Santifontaine à Nancy est un centre qui accueille des élèves déficients visuels en internat ou à la journée.

Cette approche m'a permis d'être non seulement avec les enfants, mais aussi d'approcher les aidants (éducateurs spécialisés ou non et les psychomotriciens). Le personnel éducatif avait un rôle central dans mes recherches, car il m'a permis d'identifier les limites des méthodes et outils pédagogiques. La présence de psychomotricien est aussi utile lorsqu'on veut mettre en place une solution qui nécessite l'utilisation d'un périphérique haptique. C'est le psychomotricien qui apprend à l'enfant à utiliser la canne blanche. Utiliser un périphérique haptique requiert également une prise en main particulière. Il paraissait donc pertinent de discuter avec pour comprendre les méthodes d'apprentissage.

Par la suite, j'ai agrandi mon réseau d'utilisateurs afin d'augmenter le champ d'action à des utilisateurs plus âgés :

- L'AAA, Association des Auxiliaires des Aveugles de la Moselle¹. Cette association compte aujourd'hui plus de 200 adhérents dont 50% sont des personnes déficientes visuelles et 50% sont des bénévoles. Elle a pour mission de répondre à la demande ponctuelle d'un aveugle ou malvoyant, en le mettant en relation avec un bénévole disponible et apte à l'aider pour une tâche qu'il ne pourrait effectuer seul. Les missions sont variées :
 - guider les déficients visuels pour leurs déplacements, courses ou démarches administratives ;
 - les accompagner au quotidien dans des activités culturelles ou sportives ;
 - effectuer des petits travaux de bricolage ou des réparations à domicile ;
 - dépanner le matériel informatique utilisé par les déficients visuels ;
 - leur apporter réconfort et amitié, en organisant des soirées jeux de société ou des repas, se déroulant dans un espace d'échange et de convivialité entre bénévoles et déficients visuels.

¹ <http://lesauxiliairesdesaveugles57.fr>

Chapitre 1 – Techniques d’interaction pour les personnes déficientes visuelles

– Le GIAA, Groupement des Intellectuels Aveugles ou Amblyopes² de la région lorraine. Cette association comptait 111 adhérents en 2017. Elle s’attache à soutenir tous les déficients visuels (étudiants, salariés, etc.) autour de quatre domaines clés leur permettant d’accéder à la culture, aux études, à l’emploi et aux loisirs : lire, s’insérer, s’équiper et se distraire. Depuis bientôt soixante ans, le GIAA propose de nombreux services, conseille et oriente les déficients visuels :

- conseil et orientation des jeunes aveugles ;
- publications d’ouvrages et de revues en braille ou en sonore ;
- échanges sur les techniques professionnelles adaptées ;
- apprentissage du matériel informatique adapté ;
- transcription braille à la demande ;
- secrétariat personnalisé ;
- organisation de sorties culturelles et sportives.

Ces services permettent aux étudiants de poursuivre leur formation, aux jeunes salariés de s’insérer dans la vie professionnelle et contribuent à aider toute personne désirant avoir accès à la culture ou aux loisirs.

Il s’agit d’antennes locales (départementale et régionale) avec un large panel d’utilisateurs potentiels pour la recherche. Un atout essentiel est qu’elles offrent la possibilité d’atteindre un plus vaste public au niveau national si besoin.

1.2.3. Disposer d’une équipe de recherche

La notion d’équipe peut-être vue sous différents angles en fonction de la dimension donnée à l’équipe et des objectifs de la recherche : groupe, laboratoire, réseau.

Au niveau groupe, j’identifie un objectif plutôt exploratoire dans lequel j’essaie de voir si des idées mériteraient un approfondissement. Ce travail est réalisé au sein d’un petit groupe dans le cadre de stages niveau BAC+4 ou 5. Dans le domaine des techniques d’interaction haptiques pour les personnes déficientes visuelles, j’ai ainsi testé plusieurs pistes de recherche :

- Usage de l’haptique dans la conception 3D :
 - Frédéric Danesi, L’esquisse 3D, 01/1999-06/1999, DEA informatique.
 - Maël Cornil et Laurent Bretnacher, Conception d’un système collaboratif basé sur un dispositif de visualisation 3D avec interactions haptiques, 10/2007-03/2008, M2 informatique.
- Techniques d’interactions pour aider les élèves déficients visuels en géométrie.
 - Erwan Malik, Apprentissage de la représentation multidimensionnelle pour les élèves non-voyants, 01/2001-06/2001, DEA informatique.
 - Célia Lecoivre et Nicolas Matthieu, Application de géométrie pour élèves déficients visuels, 10/2012-03/2013, M2 informatique.
 - Gautier Hupays et Jérémy Nenich, Application de géométrie pour élèves déficients visuels, 11/2013-05/2014, M1 informatique.
 - Mathieu Da Costa et Rémi Mastriforti, Application de géométrie pour élèves déficients visuels, 10/2014-03/2015, M2 informatique.
- Problématique du guidage adaptatif pour des personnes déficientes visuelles lors de l’interaction pour reconnaître différents types de formes (circuits électriques, polygones, plan, figure, etc.).
 - Mickaël Barbasso, Amélioration de l’application Tortue haptique, 06/2005-09/2005, Maîtrise informatique.
 - Flavien Rossignol, Étude de guidage intelligent de formes : application aux circuits électriques, 11/2009-05/2010, M1 informatique.
 - Ensuifudine Omar et Othmane Senouci, Étude du guidage intelligent de polygones, 11/2010-05/2011, M1 informatique.
 - Julien Dhalenne et Zhendong Wu, Aide au guidage pour déficients visuels, 11/2013-05/2014, M1 informatique.
 - Grégory Hoenen et Vincent Mondaud-Wysocki, Apprentissage de trajets pour déficients visuels, 11/2013-05/2014, M1 informatique.
 - Amar Guerrache, Modélisation des techniques de parcours réalisés par des personnes déficientes visuelles pour reconnaître des polygones, 03/2012-08/2012, M2 informatique.

² <https://www.giaa.org>

Chapitre 1 – Techniques d’interaction pour les personnes déficientes visuelles

- Abdessamed Benkaddour, Étude de guidage intelligent de formes : application aux circuits électriques, 04/2010-09/2011, M2 informatique.
 - Pauline Fisher et Aurore Lambin, Simulateur de parcours de polygones pour des personnes déficientes visuelles, 11/2014-03/2015, M2 informatique.
- Aide à la conception pour des personnes déficientes visuelles
- Medhi Assekour et Ariane Kelle, Patrons multimodaux pour aider une personne déficiente visuelle à concevoir un site web, 10/2008-03/2009, M2 informatique.

Au niveau laboratoire, l’objectif est de trouver et tester de nouvelles approches, puis de les optimiser. Il peut s’agir d’un travail personnel, mais dans mon contexte, c’est un travail dans lequel l’échange est important. C’est pour cette raison que j’ai toujours cherché à co-encadrer des étudiants en thèse et à leur trouver un financement. Thomas Pietrzak a été le premier étudiant que j’ai co-encadré à 50%. Notre équipe ne disposant que de la moitié d’un financement sur un projet, j’ai réussi à obtenir un cofinancement de la région Lorraine. Nous avons pu travailler ensemble sur la dissémination d’informations haptiques dans un environnement multimodal pour des enfants déficients visuels.

Au niveau réseau, j’ai essayé au fil des années de construire des relations avec d’autres chercheurs. C’est à travers un projet européen, le projet MICOLE, que j’ai pu travailler avec beaucoup de chercheurs spécialisés dans le domaine de l’haptique et la déficience visuelle : Stephen Brewster et Andrew Crossan du GIST de l’université de Glasgow (Royaume-Uni), Roope Raisamo du TAUCHI de l’Université de Tampere (Finlande), Charlotte Magnusson du CERTEC de l’Université de Lund (Suède), Sile O’Modhrain de l’école de musique, de théâtre et de danse de l’Université de Michigan (USA), Eva-Lotta Sallnäs Pysander du Division of media technology and interaction design du Royal Institute of Technology (Suède), Gunnar Jansson du département de psychologie de l’université d’Uppsala (Suède), Klaus Miesenberger de l’Université de Linz (Autriche). J’ai également intégré différents réseaux de chercheurs : AFIHM (Association Francophone d’Interaction Homme-Machine), IFRATH (Institut Fédératif de Recherche sur les Aides Technologiques pour personnes Handicapées), CogniEST (réseau en sciences cognitives du Grand Est), CENTICH (Centre d’Expertise National des Technologies de l’Information et de la Communication pour l’autonomie), AS-Haptique du CNRS, DEFISENS-Consortium TACT du CNRS (Évaluation et suppléance personnalisée du handicap tactile). La rencontre avec d’autres chercheurs s’est faite aussi par des invitations comme celle de Christophe Jouffrais (IRIT, Toulouse et fondateur du laboratoire Cherchons pour Voir qui coopère avec l’Institut des Jeunes Aveugles) et visites d’autres équipes comme celle de Yacine Bellik (LIMSI, Paris) ou Aude Dufresne (CITÉ, Centre de recherche Interdisciplinaire sur les Technologies Émergentes, Montréal).

1.3. Approche scientifique

1.3.1. Définition du retour haptique

Avant de démarrer les recherches sur la mise en œuvre de nouvelles techniques d’interaction haptiques pour les enfants déficients visuels, il était important de comprendre le périmètre offert par l’haptique et en particulier ce qu’on entendait par « Technique d’Interaction Haptique ».

Le mot haptique vient du verbe grec « ἅπτομαι » (hapesthai) qui signifie « toucher et manipuler » [3]. Pour les scientifiques, l’haptique désigne la science du toucher. Plus communément appelé « retour haptique », on nomme « technique d’interaction haptique » ou « modalité haptique » une réponse qu’un système peut apporter à un utilisateur pour stimuler le sens du toucher. Il s’agit d’une modalité en sortie. Cette réponse est interprétée par l’utilisateur via la proprioception qui fait référence aux sensibilités profondes du toucher : les sensibilités sensorielles sur l’état du corps (cutanées, kinesthésiques et vestibulaires) [4] [IP49]. En d’autres termes, l’utilisateur pourra obtenir des informations cutanées (sensations de pression, de température et de douleur), des informations kinesthésiques (sensation de mouvement) et des informations vestibulaires (perception de la position, l’accélération et la décélération de la tête).

Le retour haptique peut être passif, pseudo actif ou actif [4]. Le cas le plus simple est le retour haptique passif, car il n’est pas contrôlé par la simulation : l’utilisateur manipule des objets réels pour simuler des objets virtuels de forme similaire (cf. Fig. 1. 3). Ces objets sont appelés « props » (en Anglais). L’illusion du toucher n’est donc que partielle : les objets manipulés font prendre conscience de leur présence, mais d’une part l’immersion peut être difficile puisque les objets manipulés ne représentent pas exactement les objets virtuels et d’autre part on perd le côté dynamique du retour.

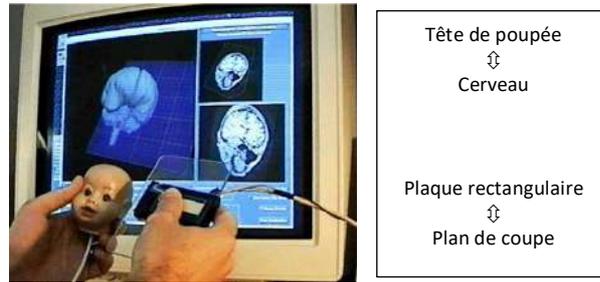


Fig. 1. 3. Retour haptique passif pour la visualisation neurochirurgicale [4].

Le retour pseudo-haptique consiste quant à lui à combiner de manière optimale le retour visuel et l’action de l’utilisateur dans l’environnement virtuel avec un périphérique qui ne produit pas de retour haptique [5]. L’utilisateur aura l’illusion que son sens du toucher est stimulé. L’information haptique passive est ainsi liée ou provoquée par une action de l’utilisateur. L’utilisateur interagit via une interface isométrique i.e. statique, solidaire de son socle et qui offre une résistance à l’utilisateur. La figure ci-dessous montre comment ressentir l’insertion d’un cube dans un conduit : on force l’utilisateur à augmenter la force à appliquer sur l’interface (la souris Spaceball) en lui montrant visuellement un ralentissement du cube au moment de l’insertion. Ainsi, l’utilisateur aura la sensation de résistance à l’insertion. Cette interaction pseudo-haptique permet d’évoquer à l’user une sensation de frottement, mais ce n’est qu’une illusion haptique. Il est clair que le contexte d’usage est limité tant par les sensations que l’on peut simuler par illusion que par les utilisateurs visés. Dans notre contexte de recherche, il est impossible d’utiliser ce type de retour puisque les utilisateurs sont déficients visuels.



Fig. 1. 4. Exemple de retour pseudo-haptique avec une souris isométrique [4].

Le retour haptique actif constitue le cas le plus fréquent de retour haptique, mais aussi le plus flexible. L’interaction haptique est contrôlée par un périphérique dédié qui restitue des stimuli calculés par la simulation. Pouvoir contrôler le retour à appliquer permet d’imaginer des techniques d’interactions nouvelles, qui peuvent aller au-delà d’une copie des interactions du monde réel. C’est pour cette raison majeure que j’ai choisi d’aborder les travaux de recherche sur les techniques d’interaction avec retour haptique actif. Mon but est d’aider les utilisateurs déficients visuels dans leurs interactions avec le système. Avec un retour haptique actif, on peut envisager de contrôler l’aide haptique à apporter et la rendre ainsi plus adaptée aux besoins de l’utilisateur.

Deux retours haptiques actifs complémentaires sont identifiables [6] [7] :

- le retour tactile, qui affecte la surface de la peau par étirement et pression. Il permet de simuler par exemple la rugosité ou encore la température ;
- le retour de force, qui affecte la position et le mouvement des doigts, de la main ou du corps. Il permet de simuler par exemple le poids ou encore l’inertie.

Partant du constat que les utilisateurs n’ont pas tous les mêmes préférences dans leur manière d’interagir, se limiter à l’un des deux retours n’est pas judicieux. Il est d’ailleurs préférable d’utiliser une approche multimodale pour proposer plusieurs modalités haptiques alternatives à l’utilisateur. Dans les dix mythes sur la multimodalité référencés par Sharon Oviatt [8], il est indiqué que les utilisateurs n’interagissent pas de manière multimodale, mais plutôt passent

d’une modalité à l’autre en fonction notamment du contexte. Une des recommandations pour la conception de systèmes multimodaux est justement l’adaptation des modalités non seulement aux besoins et aux capacités des utilisateurs, mais aussi au contexte d’usage [9].

Concevoir de nouvelles techniques d’interaction haptique, qu’elles soient tactiles ou à retour de force, demande de définir sur quelle partie de la technique d’interaction agir. D’après la définition de Nigay et al., une technique d’interaction ou modalité est représentée par un couple $\langle d, l \rangle$ où d désigne le dispositif utilisé et l le langage d’interaction utilisé pour traduire l’information transmise par d [2]. Les deux paramètres offrent des verrous scientifiques, car malgré la prolifération des périphériques haptiques, peu sont réellement utilisés. Travailler sur la conception d’un nouveau dispositif haptique ne m’a pas paru une bonne approche, surtout pour démarrer des travaux sur l’haptique : comprendre l’existant, les potentiels et les limites des périphériques existants et voir si on peut trouver un meilleur usage avec de nouveaux langages d’interaction est déjà un verrou scientifique. Dans les années 90, une grande quantité de périphériques haptiques ont vu le jour avec un fort potentiel pour transmettre des informations. Parmi ces périphériques, il a fallu définir des critères de choix :

- Pouvoir proposer des langages d’interaction tactiles et à retour de force.
- Ne pas dépendre du périphérique. Les langages d’interaction proposés doivent pouvoir s’adapter à un maximum de périphériques pour profiter d’un maximum de contexte d’usage. Il peut y avoir des différences significatives entre les forces applicables en continu pendant les interactions (par exemple, 1,75N pour le PHANToM Desktop contre 100N pour le FCS Haptic Master). En fonction du type d’application ou des capacités physiques de l’utilisateur, un retour de force différent peut être nécessaire. L’espace de travail peut aussi varier.
- Ne pas contraindre l’utilisateur avec des périphériques portés. Aujourd’hui, ce critère peut paraître dépassé, mais il est nécessaire de se placer dans notre contexte. Proposer à des personnes déficientes visuelles des techniques d’interactions simples à utiliser qui n’accroissent pas leur différence sociale avec les personnes voyantes. La technologie haptique peut dans un premier temps faire peur, puisque le périphérique va agir sur le sens du toucher à différents niveaux d’intensité. L’acceptation du périphérique sera plus simple s’il n’est pas porté. De plus, le fait de le porter peut amplifier la différence avec un utilisateur voyant.

Du côté des périphériques à retour de force, le choix s’est porté sur un périphérique de type bras articulé avec un retour de force transmis via la main. L’utilisateur doit prendre en main une partie articulée du périphérique (stylet, poignée, etc.) qui va pouvoir contrôler les mouvements de l’utilisateur en envoyant des forces calculées par le système. Cette catégorie propose une grande variété de périphériques, ce qui permet de répondre à nos critères. Du côté des périphériques à retour tactile, il existe un grand nombre de périphériques utilisant le concept de matrices à picots. C’est vers cette catégorie de périphériques que le choix s’est porté, car ces périphériques sont à la fois proche du Braille et éloignés dans les possibilités de messages à transmettre (la taille de la matrice varie ainsi que le mode d’activation des picots).

La figure Fig. 1. 5 résume le cadre de travail considéré pour toute ma recherche sur la mise en œuvre de nouvelles techniques d’interaction pour les personnes déficientes visuelles. Il définit pour quelles catégories de dispositifs haptiques les techniques d’interaction seront mises en œuvre. Les deux verrous scientifiques identifiés pour concevoir ces techniques concernent directement les utilisateurs puisqu’il s’agit de trouver des techniques adaptées aux personnes déficientes visuelles et de limiter leur apprentissage afin que le message haptique soit simple et rapide à comprendre.

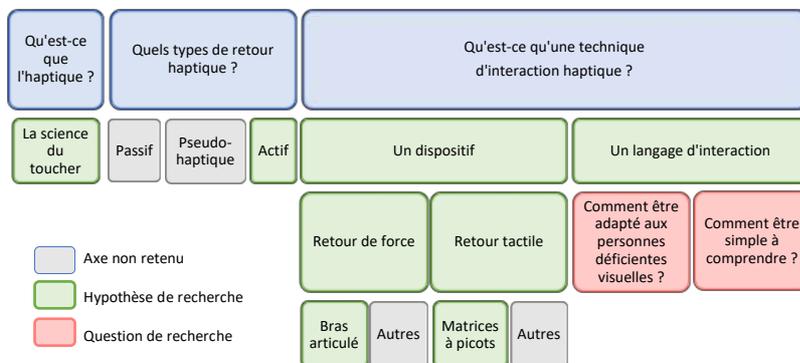


Fig. 1. 5. Définition du cadre de travail haptique.

Chapitre 1 – Techniques d’interaction pour les personnes déficientes visuelles

1.3.2. Projet St Eucaire : approche exploratoire

Présentation

Le projet St Eucaire est un projet non financé purement exploratoire qui a permis de fixer les bases pour mettre en place de nouvelles techniques d’interaction. L’approche scientifique mise en place consistait à identifier les difficultés rencontrées par les enfants déficients visuels en cours de mathématiques et en particulier en géométrie, puis à voir l’impact de l’utilisation d’un retour de force sur des enfants déficients visuels lors d’exercices simples d’exploration et de création de formes mathématiques plus ou moins complexes.

Équipe de recherche

Le travail de recherche s’est effectué principalement dans le cadre d’un stage de DEA informatique [10]. J’ai pu également collaborer avec deux autres chercheurs de mon équipe : Benoît Martin et Robin Vivian.

Méthodologie de travail

Les utilisateurs sont au cœur de cette recherche exploratoire. Ainsi, j’ai pris contact avec l’école St Eucaire de Metz qui accueille des élèves déficients visuels au niveau école élémentaire. La méthodologie était simple (cf. Fig. 1. 6. Projet St Eucaire : méthodologie de travail.) : faire un état de l’art sur les méthodes d’apprentissage de la géométrie et la représentation mentale des enfants déficients visuels, travailler avec les élèves et les enseignants en commençant par une phase d’analyse des méthodes existantes à travers des entretiens avec les enseignants et une observation in situ d’un apprentissage classique, puis une phase d’expérimentation avec les élèves ex situ, au laboratoire.

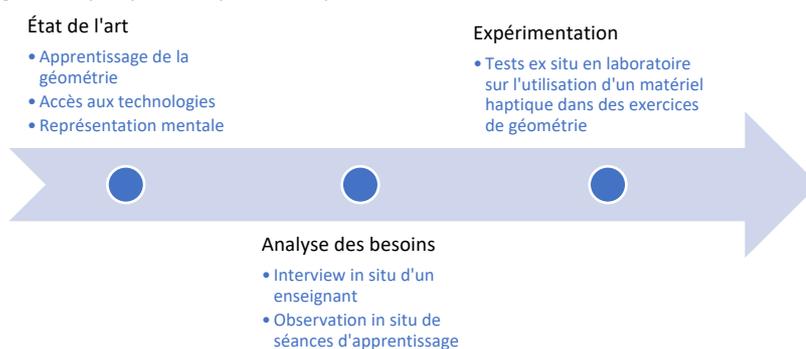


Fig. 1. 6. Projet St Eucaire : méthodologie de travail.

1.3.3. Projet MICOLE : approche expérimentale

Présentation

Le projet MICOLE est un projet européen (n° FP6-511592) qui visait à développer un environnement multimodal et collaboratif permettant à des enfants déficients visuels et des personnes voyantes de communiquer, d’explorer des données et de favoriser la créativité. Les modalités gérées peuvent solliciter le canal visuel, le canal auditif et le canal haptique.

Tableau 1. Les partenaires du projet MICOLE

Participants	Pays	Responsable local
1 University of Tampere / TAUCHI	Finlande	Roope Raisamo
2 University of Glasgow / GIST	Royaume-Uni	Stephen Brewster
3 Media Lab Europe	Irlande	Sile O’Modhrain
4 Université de Metz / LITA	France	Benoît Martin
5 Uppsala University / Department of Psychology	Suède	Gunnar Jansson
6 Lund University / CERTEC	Suède	Charlotte Magnusson
7 Royal Institute of Technology / NADA	Suède	Kerstin Severinson Eklundh
8 Siauliai University / Department of Electronics	Lithuanie	Vidas Lauruska
9 FORTH / ICS	Grèce	Anthony Savidis
10 University of Linz / Institut Integriert studieren	Autriche	Klaus Miesenberger
11 Université Pierre et Marie Curie/ INSERM	France	Dominique Archambault
12 France Telecom	France	Denis Chene
13 Reachin Technologies AB	Suède	Johan Söderberg

Équipe de recherche

L’équipe était constituée de 13 partenaires dont 2 industriels (partenaires 12 et 13, cf. Tableau 1). Tous les chercheurs impliqués travaillaient dans le domaine de l’IHM, que ce soit plutôt du côté technique (informatique) ou du côté humain (psychologie). Du côté de mon laboratoire, avec Benoît Martin, nous étions seulement 2 chercheurs impliqués. Durant ce projet, nous avons pu recruter un ingénieur de recherche et deux thésards. J’ai pu co-encadrer l’un deux, Thomas Pietrzak. Avec lui, nous avons collaboré principalement avec les partenaires 1, 2 et 6.

Méthodologie de travail

Le projet était découpé en 8 lots interconnectés (cf. Fig. 1. 7) :

1. Utilisateurs et besoins : définition des groupes d’utilisateurs qui seront impliqués tout au long du projet ; définition des besoins des utilisateurs handicapés ; identification des besoins pour les applications à développer.
2. Sens et accessibilité : étude des modalités alternatives aux modalités visuelles ; conception, développement et évaluation de techniques de navigation et de contrôle permettant aux utilisateurs d’explorer, naviguer et partager des données ; définitions de recommandation pour la conception multimodale d’outils de navigation et de présentation de l’information.
3. Collaboration et communication : définition du principe de collaboration et de communication dans une interface multimodale entre voyants et non-voyants.
4. Environnement inclusif : conception et développement d’une architecture multimodale pour concevoir des applications multimodales collaboratives ; conceptions et développement d’applications multimodales collaboratives à partir de l’architecture.
5. Évaluation : évaluation des prototypes d’application et de l’architecture.
6. Diffusion.
7. Management.

Dans ce projet, je suis intervenue principalement dans les lots 1, 2, 4, 5, 6 et 7.

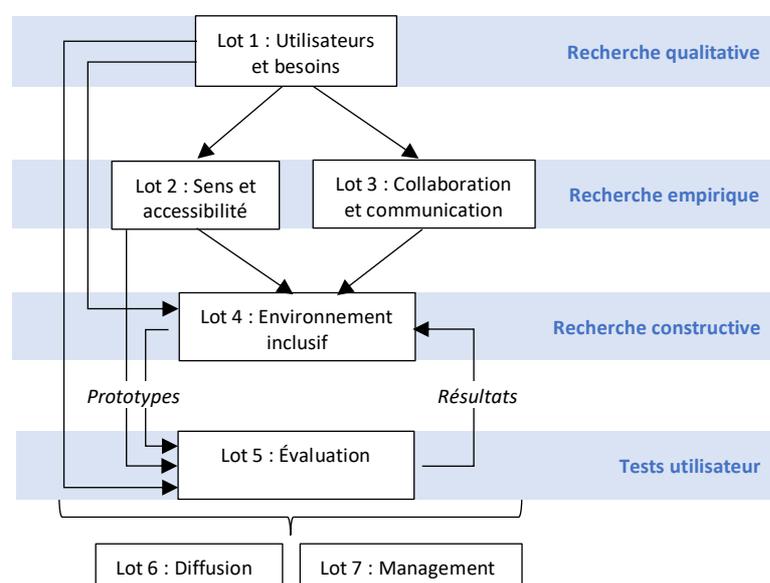


Fig. 1. 7. Dépendances entre les lots et type de recherche.

1.4. Résultats marquants

Dans cette partie, je ne vais pas présenter tous les travaux réalisés autour de l’haptique, mais ceux qui sont représentatifs de ma démarche et qui sont les plus importants par rapport à mes questions de recherche présentée Fig. 1. 5.

Chapitre 1 – Techniques d’interaction pour les personnes déficientes visuelles

1.4.1. Le retour de force pour aider à l’apprentissage de la géométrie

Les résultats présentés dans cette partie correspondent aux travaux dans le cadre du projet St Eucaire. Il s’agit principalement de résultats exploratoires dont le but était de montrer un potentiel d’usage de l’haptique chez des enfants déficients visuels pendant un apprentissage. Je vais présenter une synthèse des publications réalisées sur le sujet [IP7][IP29][IP41].

1.4.1.1. Apprentissage chez les personnes déficientes visuelles

Accès à la technologie

Les personnes ayant une déficience visuelle rencontrent d’énormes problèmes du côté éducatif et du côté technologique [11]. Elles ont du mal à accéder aux matériels graphiques, car elles n’arrivent pas à les utiliser. L’enseignant, souvent frustré, a recours à la description orale, solution plus simple et moins perturbatrice [12]. On peut se demander si cette solution est la meilleure. Le manque d’interactivité des matériels graphiques proposés aux personnes ayant une déficience visuelle est peut-être la cause de cette difficulté d’utilisation : ils ne montrent qu’un résultat et n’offrent aucune possibilité d’adaptation à l’utilisateur. Des tests ont montré que les enfants aveugles aiment dessiner [12]. Donc cette difficulté rencontrée n’est pas due aux enfants déficients visuels, car ils ne sont pas gênés pour accéder à une connaissance qui leur est a priori inaccessible en raison de leur handicap. Toutefois, le problème vient aussi du peu d’entraînement à extraire du sens d’un affichage graphique [12].

Représentation mentale

Pour comprendre un dessin, la personne déficiente visuelle doit avant tout se construire une représentation mentale, car elle permet d’améliorer la mémoire [13]. Il est souvent difficile d’apprendre à une personne non-voyante à se forger une représentation mentale, car une copie conforme à la réalité peut ne pas avoir de sens pour elle [12]. Il faut trouver le bon équilibre pour transformer la réalité en respectant les informations à transmettre et celles effectivement interprétées par la personne non voyante. Cette démarche n’est pas impossible, car l’existence d’un modèle spatial de l’environnement pour les non-voyants a été prouvée [14] [15]. Sans une stratégie d’exploration adaptée, les personnes ayant une déficience visuelle n’obtiendront pas une représentation mentale fiable. Or, des tests ont montré qu’elles manquent de stratégies d’exploration, dû en partie à un problème d’organisation cérébrale [13][16]. Il est donc nécessaire d’apporter des aides pour donner aux personnes visuellement déficientes les moyens d’arriver à une stratégie d’exploration nécessaire et suffisante. Apprendre une ou plusieurs stratégies par le biais d’outils informatiques n’est pas une tâche aisée :

- l’âge et l’acquis ont beaucoup d’influence [17] ;
- les aveugles précoces n’ont pas les mêmes stratégies que les aveugles tardifs [18] ;
- une personne ayant une déficience visuelle ne doit pas être considérée comme un enfant normal privé de la vision, car son développement se fera à partir d’autres bases intégrant la cécité [19].

Apprentissage des mathématiques à l’école St Eucaire

L’école primaire St Eucaire de Metz est une école classique comprenant quelques classes d’enfants déficients visuels. Ces derniers intègrent des classes « normales » quelques jours par semaine ; le reste du temps ils sont suivis par un enseignant spécialisé. Ils suivent une scolarité à peu près normale, ce qui peut être parfois difficile à gérer tant pour l’enseignant qui doit adapter ses méthodes pédagogiques que pour l’élève qui peut avoir des absences prolongées dues à des interventions chirurgicales.

Dès le premier entretien avec un enseignant de l’école, d’énormes besoins se sont fait ressentir en matière d’assistance à l’apprentissage et en particulier sur la notion de précision en géométrie : il est très difficile d’obtenir des tracés précis ou de réussir à les contrôler précisément (« droites parallèles », « segment de 2,4cm », etc.). De plus, l’enseignant a besoin de disposer d’un grand éventail de méthodes et outils pédagogiques, car les capacités d’assimilation des connaissances sont très variables selon les enfants en fonction de :

- leur handicap : aveugle vs mal voyant, niveau de vécu visuel ;
- l’évolution de leur maladie : absences pour raisons chirurgicales, dépression avec la perte progressive de la vue, difficultés à apprendre à ne pas utiliser la vue qui est encore présente.

Au cours des entretiens avec l’enseignant et les élèves de l’école, il a semblé qu’une relation forte existait entre eux. Un dialogue quasi permanent doit être engagé entre l’enseignant et l’élève. Pour pallier la vue et rassurer l’élève sur ce qu’il a fait, l’enseignant donne énormément d’informations.

Chapitre 1 – Techniques d'interaction pour les personnes déficientes visuelles

1.4.1.2. Observation à l'école : comprendre les méthodes classiques

Présentation

Il s'agit d'observer l'enseignant lors d'apprentissage de formes géométriques. Trois élèves de l'école St Eucaire ont participé à cette observation. Pour respecter leur anonymat des noms fictifs leur sont attribués : Paul, Anne et Pierre. Ils ont respectivement 7, 11 et 12 ans. Paul est aveugle de naissance, Anne et Pierre ont un vécu visuel : Anne ne voit quasiment plus, mais Pierre voit encore un peu et utilise encore sa vue sachant qu'à court terme il sera complètement aveugle. Tout au long de l'observation, les enfants sont filmés et ils le savent, ce qui peut les intimider au départ. L'observation se décompose en deux temps, car Paul n'a pas le même niveau scolaire :

- Apprentissage de courbes par rapport aux droites horizontales, verticales ou obliques déjà connus, avec Paul.
- Apprentissage de formes 3D en bois (cylindre et cône) avec Anne et Pierre.

L'enseignant adopte des démarches similaires (Fig. 1. 8) : une phase d'apprentissage qui permet à l'élève de construire sa représentation mentale, puis une phase pour s'assurer que cette représentation est discriminante. En fonction du niveau de l'élève et de son vécu, l'enseignant adapte sa démarche pour mettre en confiance l'élève ou encore l'aider à construire et à renforcer sa représentation mentale.

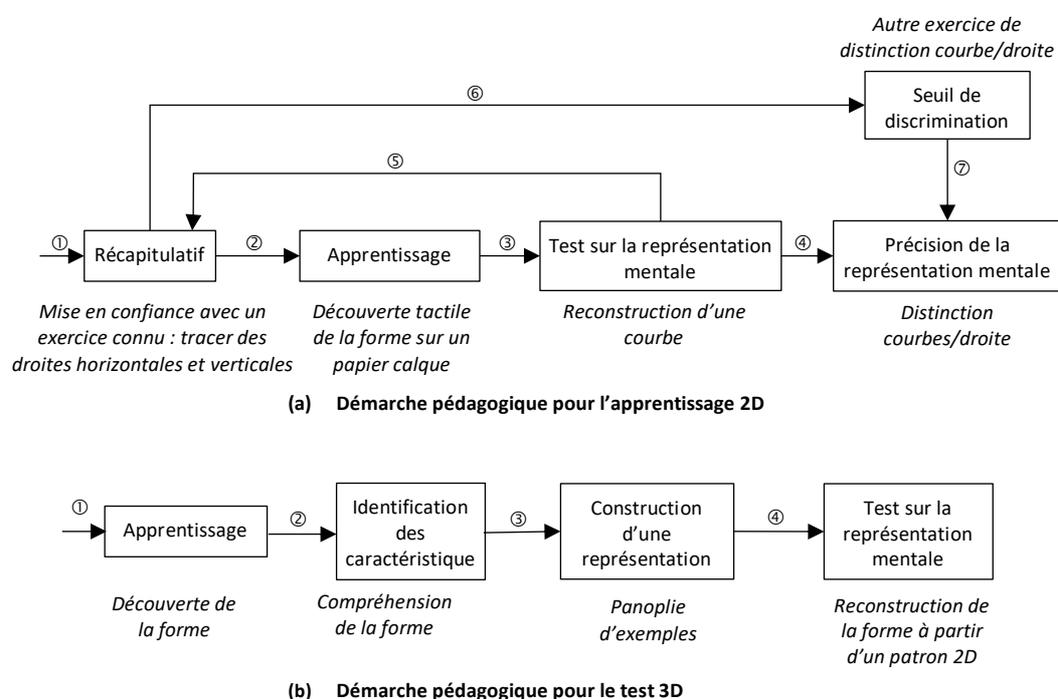


Fig. 1. 8. Démarches pédagogiques.

Cette observation in situ a permis de confirmer quelques points essentiels apparus lors des entretiens avec l'enseignant :

- L'interaction entre l'élève et l'enseignant est importante. L'élève a besoin d'être rassuré sur ce qu'il fait ; il sollicite énormément l'enseignant, y compris pour demander des informations inutiles pour l'exercice.
- Le vécu de l'élève joue un rôle important dans la construction de la représentation mentale. L'enseignant pousse l'élève à faire des associations avec des objets de son quotidien.
- La concentration est importante. Elle peut être vite perdue si pour l'élève l'exploration et la compréhension du monde qui l'entoure est capital. Cet aspect peut être gênant dans la mesure où souvent il faut savoir faire abstraction de certaines données et avoir une vue plus globale pour comprendre des points précis : il faut parvenir à se concentrer sur l'exercice et ne pas se laisser distraire par des paramètres extérieurs à l'exercice. L'âge est un facteur qui peut influencer sur le niveau de concentration.
- Le sens du toucher n'est pas forcément très développé chez les jeunes élèves. C'est pourtant important pour l'apprentissage, car les formes 2D sont dessinées sur un papier calque épais. L'élève ne parvient pas toujours à sentir les lignes en relief sur ce papier calque.

Chapitre 1 – Techniques d'interaction pour les personnes déficientes visuelles

- L'exploration peut se faire à un doigt pour découvrir certaines caractéristiques, mais la prise en main quand elle est possible est plus discriminante.

1.4.1.3. Expérimentation au laboratoire : potentiel du retour haptique

Présentation

Cette expérience représente la 1^{ère} prise de contact des enfants avec un périphérique haptique : le PHANTOM Desktop (cf. Fig. 1. 1). Il s'agit des mêmes enfants que dans l'observation in situ. Leurs tâches consistent à effectuer plusieurs petits exercices faisant appel à des connaissances géométriques acquises (cf. Fig. 1. 9) :

- Reconnaître des lignes horizontales, verticales et obliques.
- Reconnaître des formes 3D : cube, sphère, cylindre et cône.
- Tracer un segment d'une longueur donnée.

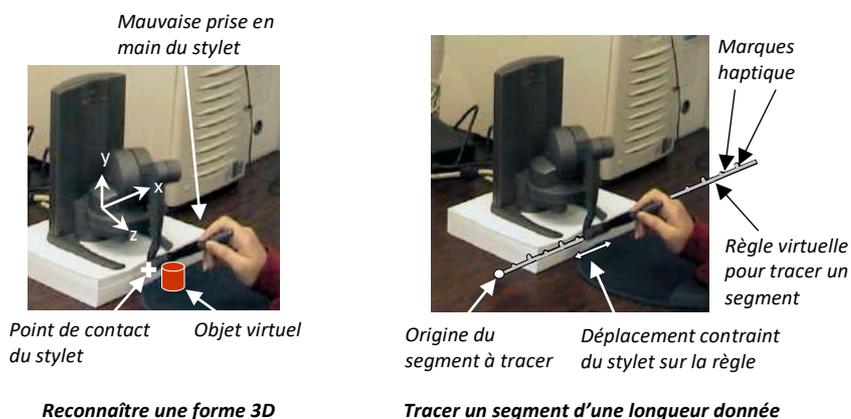


Fig. 1. 9. Exercices de géométrie haptique.

Protocole

Pour s'habituer à la prise en main du périphérique, les élèves doivent parcourir tout l'espace de travail avec le stylet. De plus, pour les habituer aux possibilités haptiques du matériel, un retour d'effort plus ou moins important sur les trois axes est appliqué pour bien montrer que leur mouvement peut être « empêché » ou « facilité ».

Pour le premier exercice, le déplacement du stylet est contraint sur une ligne dans le plan xOy. L'élève doit dire si la ligne est verticale, horizontale ou oblique (45°, 30°, 80° puis 150° par rapport à l'axe Ox). Pour le second exercice, l'élève doit parcourir une forme 3D modélisée dans la scène et la reconnaître. Il n'est pas informé que la manipulation se fait maintenant en 3D. Différents effets haptiques sont testés pour explorer les formes 3D :

- Pour le cube, le stylet est contraint à l'intérieur.
- Pour la sphère, le stylet est contraint à l'intérieur et une force magnétique est appliquée sur la surface de la sphère.
- Pour le cylindre et le cône, le stylet est à l'extérieur et restitue juste le contact avec l'objet.

Pour le dernier exercice, l'élève doit tracer virtuellement des segments de longueurs précises au millimètre près. Le stylet est placé à l'origine du segment, puis il est contraint sur une ligne qui représente la métaphore de la règle posée sur une feuille. À tout moment, l'élève peut demander au système la longueur du segment qu'il a atteint, comme un élève voyant regarderait la mesure indiquée sur sa règle. Lorsqu'il a atteint la mesure désirée, il la valide en cliquant avec le bouton du stylet. Deux méthodes sont comparées :

- La métaphore de la règle sans graduation où seule la synthèse vocale peut donner la mesure. La technique du Magicien d'Oz est appliquée pour la synthèse vocale : un humain la simule.
- La métaphore de la règle graduée où des marques haptiques sont représentées à intervalles réguliers sur la règle (cf. Fig. 1. 9). Il s'agit de petites bosses tous les 5cm, et de bosses un peu plus grandes tous les 10cm.

La prise en main

La prise en main du périphérique doit être celle d’un stylo pour ressentir convenablement le retour haptique. Plusieurs problèmes sont apparus avec les élèves :

- Impossible de comprendre la prise en main. C’est le cas de Paul. Il est aveugle de naissance et trop jeune pour avoir tenu un stylo auparavant. Pour lui ce n’était pas une prise en main évidente et naturelle.
- La main glisse vers le haut du stylet pendant les manipulations malgré une bonne prise en main au départ (cf. Fig. 1.9). C’est le cas pour Anne et Pierre. Le bras de levier induit par la mauvaise prise en main devient perturbant pour ressentir convenablement le retour haptique.
- La main non dominante est utilisée pour la tâche principale (réaliser l’exercice) et la main dominante pour la tâche secondaire (explorer le matériel) alors que ce devrait être l’inverse pour une bonne interaction [20]. C’est le cas de Paul qui est plus intéressé par explorer le monde réel, ici le matériel que le monde virtuel. Une fois son exploration terminée, Paul a repris le stylet avec sa main dominante.
- Risque d’accident due à une mauvaise position de la tête par rapport au stylet. Paul a besoin de sentir les objets qu’il manipule, ce qui fait que sa tête est très proche du stylet. Or le retour de force sur le stylet avec une mauvaise prise en main peut provoquer un mouvement incontrôlé vers la tête de l’utilisateur si elle est trop proche.
- La rotation du stylet sur lui-même a beaucoup perturbé Paul.

Tous ces problèmes de prises en main peuvent être résolus avec un bon apprentissage. Dès qu’un nouveau matériel doit être utilisé en classe, un psychomotricien apprend aux élèves déficients visuels comment s’en servir. C’est une étape incontournable également pour l’usage d’un matériel haptique. Devant les problèmes rencontrés par Paul pour utiliser le périphérique, il n’a pas effectué les exercices.

Le retour haptique dans l’environnement virtuel

Globalement, les retours haptiques proposés sont bien perçus par les élèves : la contrainte de guidage sur la ligne, les marques haptiques, l’exploration par l’intérieur des objets, le contact extérieur des objets. Seul l’effet magnétique les a perturbés, mais c’est plus dû à un problème de paramétrage de la force qui était trop violente. Les exercices ont été plutôt bien réalisés, même s’il a fallu parfois leur apporter un peu d’aide. Par exemple, pour l’exploration 3D, sans information, les élèves font une analyse 2D : le cube est perçu comme plusieurs carrés. En les informant que les objets sont des formes 3D, ils reconnaissent le cube. Les erreurs rencontrées sont principalement dues à un manque de stratégies d’aides à l’exploration, ce qui n’était pas le but de l’expérience.

La sensation est tellement réelle qu’il leur est difficile de distinguer le monde réel du monde virtuel. Cela provoque aussi des erreurs d’interprétation quand le stylet touche la base du périphérique, l’élève ne peut pas comprendre qu’il s’agit du matériel. Ce problème peut être évité en confinant le déplacement du stylet dans un espace qui ne permet pas ce type de contact.

1.4.2. Le langage d’interaction PICOB

Les résultats présentés dans cette partie correspondent à des travaux initiés dans le cadre du stage de DEA de Thomas Pietrzak puis approfondis durant sa thèse que j’ai co-encadrée dans le cadre du projet européen MICOLE. Je vais présenter une synthèse des publications réalisées sur le sujet [IP5][IP21][IP24][IP38][IP39][21].

1.4.2.1. Motivations

Le contexte de la déficience visuelle demande de privilégier d’autres modalités que les modalités visuelles. Nous nous intéressons plus particulièrement à l’apport de techniques d’interactions haptiques pour transmettre des informations. L’affichage de messages par le retour de force est un verrou scientifique, car très peu étudié. Enriquez et al. décrivent des expérimentations sur les paramètres utilisables pour des icônes haptiques ou « Hapticons » [22]. Ils ont utilisé un moteur à courant continu qui délivre des forces sur un axe en rotation : le signal envoyé peut se paramétrer en magnitude (amplitude de déplacement), en forme (signal sinusoïdal, carré, etc.) et en fréquence. Les études publiées montrent des tests utilisateurs où les participants devaient classer en catégories des icônes en utilisant des paramètres de leur choix. Le seul critère unanimement utilisé pour la classification est la fréquence. Leurs études se sont poursuivies autour de la notion de phonème haptique et de signification arbitraire [23]. Un phonème y est défini comme des formes de signal simples à fréquence et amplitude constantes. Des mots haptiques ont été construits à partir de ces phonèmes par concaténation ou superposition. L’idée première était de tester l’association de ces mots à des significations arbitraires afin de connaître les limites de la compréhension de l’information. Les résultats ont montré qu’après un temps d’apprentissage de 25 minutes, l’association arbitraire était assimilée. Mais ces études sont basées sur un matériel spécifique non commercial.

L’étude exploratoire du projet St Eucaire a mis en évidence quelques pistes et notamment celles des marqueurs haptiques utilisés pour indiquer des graduations. Les enfants déficients visuels n’ont pas éprouvé de difficultés à les ressentir et à les interpréter. Ces marqueurs représentent une technique d’interaction en sortie définie par le couple formé d’un dispositif à retour de force (ici de type bras articulé) et un langage à base de bosses d’amplitudes différentes. Cette technique permettrait, si elle est étendue, de transmettre un message par retour de force. C’est dans ce contexte que le projet PICOB (Post-It haptiques par COdes-Barres) a été lancé.

1.4.2.2. Définitions de l’interaction PICOB

Le projet PICOB (Post-It haptiques par COdes-Barres) a pour but de concevoir une forme générique de messages basés sur l’usage du retour de force avec un périphérique haptique de type bras articulé. Nous nous sommes inspirés d’un codage bien connu, le code morse : il utilise deux digits pour coder les caractères alphanumériques. Pour afficher un message utilisant ce code, il faut associer une représentation à chaque digit. Une représentation auditive courante est une succession de bips longs et courts, et au niveau visuel des tirets et des points. Pour afficher le message « SOS » avec le codage morse il faut utiliser une de ses représentations. On obtient **••• --- •••**. Avec une représentation haptique basée sur des impulsions, le codage utilisé serait le même, mais sa représentation serait alors **↓ ↓ ↓ ↑ ↓ ↓ ↓**.

Définition 1 Une *impulsion* est une force exercée par le périphérique à retour de force, dont les caractéristiques sont sa direction, son amplitude, sa longueur et sa forme.

La direction est celle dans laquelle l’utilisateur est attiré. La forme correspond à la trajectoire de l’utilisateur, dont l’amplitude est la distance maximale parcourue et la longueur correspond aux limites de la lecture de l’impulsion (cf. Fig. 1. 10).

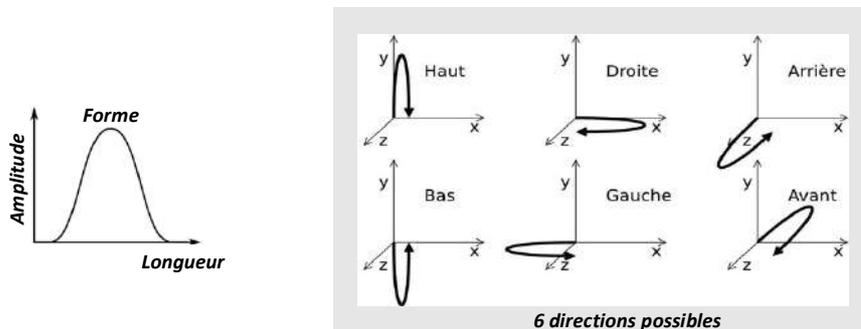


Fig. 1. 10. Caractéristiques d’une impulsion : longueur, amplitude, direction et forme.

Définition 2 Une *impulsion guidée* est une impulsion dont la longueur est une unité temporelle : la position de départ de la lecture est fixée. L’impulsion est ressentie comme une déviation par rapport à la position de départ, qui varie en fonction des autres paramètres.

Définition 3 Une *impulsion semi-guidée* est une impulsion dont la longueur est une unité spatiale : l’utilisateur est contraint sur un axe, et la déviation dépend de la position sur cet axe. Les impulsions sont donc ressenties comme des déformations de l’axe.

Ces deux types d’impulsions sont utilisées dans un contexte différent. Les impulsions guidées se substituent à l’exploration normale de l’environnement, alors que les impulsions semi-guidées peuvent être ressenties pendant l’exploration car elles laissent à l’utilisateur un degré de liberté.

Définition 4 Un *PICOB* est une série d’impulsions lues les unes après les autres. Les impulsions sont concaténées selon l’axe de la longueur, et espacées par des pauses de longueur éventuellement nulle.

1.4.2.3. Expérimentations

Plusieurs expérimentations pour chaque type de PICOB, guidé et semi-guidé, ont été réalisées pour déterminer les domaines de variations acceptables pour les différents paramètres des impulsions.

PICOB guidé

En mode guidé, l'utilisateur est passif, il reçoit directement les impulsions du système qui le fait toujours revenir au point de départ. Le point de départ est le point à partir duquel le PICOB guidé a été déclenché. Trois expériences ont été réalisées :

- Pour tester la reconnaissance des six directions orthogonales. Pour chacune d'elles, différentes amplitudes ont été utilisées (0,4cm, 0,7cm, 1cm, 1,5cm et 2,25cm) sur la base de tests préliminaires.
- Pour tester la reconnaissance relative de trois amplitudes dans une direction fixée (vers le haut) : une petite amplitude (fixée à la plus petite valeur du précédent test, 0,4cm), une grande (fixée à 1,5cm, car dans le précédent test celle à 2,25cm avait été jugée trop violente) et une moyenne (fixée à 0,95cm, moyenne des deux amplitudes extrêmes).
- Pour tester l'identification simultanée de la direction et de l'amplitude. Les six directions ont été utilisées et trois jeux d'amplitudes ont été testés : le même que le test sur les trois amplitudes (0,4cm, 0,95cm et 1,5cm), une progression exponentielle (0,4cm, 0,8cm et 1,6cm) et enfin les deux valeurs extrêmes des amplitudes (0,4cm et 1,6cm).

La première expérience a permis de montrer que la discrimination des directions était triviale quelle que soit l'amplitude testée et de découvrir des valeurs d'amplitudes utilisables. Par contre, elle a mis en évidence que des amplitudes identiques ne sont pas toujours ressenties à l'identique dans des directions différentes. Plus la résistance de la main est grande, plus la force ressentie est grande et la distance parcourue est petite. Les impulsions avant et arrière sont dans le prolongement du bras, donc la résistance est naturellement plus forte que dans les autres directions. Ce phénomène n'est pas gênant si la distinction d'amplitude est relative aux autres dans une même direction.

La deuxième expérience montre que les utilisateurs arrivent à distinguer efficacement les trois valeurs. Cependant, il y a quelques confusions par rapport à la valeur médiane. Un nouvel ensemble de valeurs a été créé afin de tenter d'améliorer les résultats dans la troisième expérience. Dans cette dernière expérience, les utilisateurs arrivent à reconnaître toujours aussi facilement la direction. Le taux d'erreur d'amplitude de la série utilisant les mêmes valeurs que l'expérience précédente est supérieur à celui de l'expérience précédente. Par contre, en examinant la transmission d'information³, peu d'informations ont été perdues par rapport aux séries où la direction et l'amplitude étaient reconnues séparément. Cependant, la présence d'une troisième valeur d'amplitude n'apporte pas significativement plus d'informations. De plus, les résultats montrent que la série utilisant deux valeurs d'amplitude provoque moins d'erreurs que les séries à trois amplitudes. Il est donc évident que les bénéfices des impulsions à trois amplitudes en terme d'information transmise ne compensent pas les pertes induites par le taux d'erreur plus élevé que celui des impulsions à deux amplitudes.

En conclusion, il est recommandé de n'utiliser que des impulsions guidées à six directions et deux amplitudes.

PICOB semi-guidé

En mode semi-guidé, l'utilisateur ressent des impulsions d'amplitudes et de directions différentes alors qu'il est contraint sur un axe. C'est le déplacement de l'utilisateur qui induit le ressenti de l'impulsion alors qu'en mode guidé, l'utilisateur n'agit pas. Le point d'arrivée à la fin de l'impulsion est différent du point de départ. Sur les six directions, les deux directions correspondant au sens de déplacement de l'utilisateur ne pourront pas être utilisées pour les impulsions. Deux expériences ont été réalisées en considérant le déplacement de l'utilisateur dans les directions droite et gauche. Ce sont donc des impulsions dans les quatre directions haut, bas, avant et arrière qui ont été testées :

- pour tester la reconnaissance de deux ou quatre directions sur deux amplitudes (0,4cm et 1,6cm) ;
- pour tester la reconnaissance simultanée de la direction et de l'amplitude en combinant dans une série quatre directions avec deux amplitudes, puis avec trois amplitudes.

³ Miller décrit comment la transmission d'information peut être utilisée pour décrire la qualité d'un canal de communication en examinant la quantité potentielle de messages pouvant être lus à travers le canal et la corrélation entre les entrées et les réponses des utilisateurs [24]. L'avantage d'utiliser la transmission d'information comme métrique est que cela fournit une méthode de comparaison des canaux de communication sans unité.

Pour la première expérience, les utilisateurs n’ont pas eu de difficultés à reconnaître les directions quelle que soit l’amplitude testée. Pour la seconde expérience, les résultats montrent que les utilisateurs arrivent toujours à reconnaître la direction efficacement, mais les résultats sont meilleurs lorsqu’il n’y a que deux amplitudes. De plus, les utilisateurs ont plus de mal à reconnaître les trois amplitudes. Selon certains utilisateurs, la direction est plus facile à reconnaître lorsqu’ils déplacent le stylet lentement et l’amplitude est plus facile à reconnaître lorsqu’ils déplacent le stylet rapidement. Ceci empêche de reconnaître efficacement la direction en même temps que l’amplitude. Par ailleurs, les résultats de l’analyse de la quantité d’information transmise montrent que les utilisateurs captent autant d’information avec des impulsions de deux amplitudes qu’avec des impulsions de trois amplitudes.

En conclusion, il est recommandé de n’utiliser que des impulsions semi-guidées à 4 directions et 2 amplitudes maximum.

À partir de ces premiers résultats, nous avons réalisé une expérience sur la reconnaissance de séquences d’impulsions. Neuf séquences ont été testées avec des PICOB contenant une à quatre impulsions, au maximum deux directions possibles (haut et bas) et une seule amplitude (cf. Fig. 1. 11).

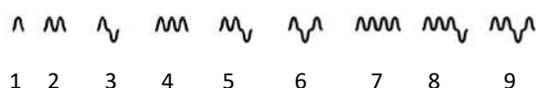


Fig. 1. 11. Les PICOB semi-guidés testés.

Les résultats ont révélé des ambiguïtés à cause d’un manque de référence. Par exemple, la séquence « haut-bas-haut » (séquence 6, Fig. 1. 11) peut être confondue avec la séquence « haut-haut » (séquence 2, Fig. 1. 11) : avec l’absence de « porteuse », le « bas » peut être confondu avec le retour du premier « haut » et l’aller du second. En conclusion, il ne faut pas utiliser ces codes ambigus ou introduire un « blanc » pouvant servir de porteuse entre deux impulsions.

1.4.3. Le langage d’interaction Tactons

Les résultats présentés dans cette partie correspondent à des travaux de la thèse de Thomas Pietrzak que j’ai co-encadrée. Ils ont démarré dans le cadre du projet MICOLE, puis se sont poursuivis pendant deux ans avec la collaboration d’Andrew Crossan et Stephen Brewster, chercheurs du Multimodal Interaction Group de l’Université de Glasgow et partenaires du projet MICOLE. J’ai pu inviter Andrew Crossan en tant que chercheur invité dans mon laboratoire pendant un mois pour finaliser nos travaux et les publier dans une revue [IP3]. Je vais présenter une synthèse des publications réalisées sur le sujet [IP3][IP5][IP20][IP21][IP22] [IP37][IP38][21].

1.4.3.1. Motivations

Parmi tous les interviews réalisés lors du projet St Eucaire, ainsi que ceux au début du projet MICOLE, un point important a suscité notre attention : un élève mal voyant dont la maladie l’amènera inévitablement vers la cécité a souvent du mal à apprendre le Braille alors qu’il peut voir encore. Or, plus tôt il apprend le Braille, plus vite il saura l’utiliser naturellement et sera prêt à continuer à communiquer quand il deviendra aveugle : la rupture sociale sera moins forte. Ce qui ressort des interviews à ce sujet, c’est qu’un élève qui voit encore ne veut pas montrer sa différence en utilisant des outils dédiés, et que les utiliser c’est accepter de devenir aveugle, ce qui est rarement le cas. En principe, un élève mal voyant utilisera sa vue tant qu’il le pourra. L’utilisation de périphériques qui utilisent des matrices tactiles pourraient proposer le double avantage de permettre une communication d’informations accessibles sans trop d’apprentissage et d’aider à accepter l’utilisation du Braille en commençant les premiers apprentissages sur le retour tactile avec ce périphérique.

Les matrices tactiles sont très répandues si l’on considère les nombreux périphériques et technologies développés autour de ce type de retour. On peut citer à titre d’exemple la surface de [25] qui utilise une grande matrice 16×16, le Tactile Shape Display de [26] qui utilise une matrice de dimension 6×6 picots, le système VITAL avec actionneurs électromagnétiques de [27] qui est composé d’une matrice 8×8, ou encore le STReSS de [28] qui est une matrice de 8×8 se déplaçant latéralement. En ce qui concerne les matrices tactiles, il y a deux façons pour afficher des informations :

- Reproduire l’image sur la matrice.
- Afficher un message en utilisant une codification.

La première proposition consiste à convertir directement les pixels d’une image à afficher : les pixels foncés sont convertis en picots levés et les autres en picots baissés. Cette méthode a été utilisée par [29] pour présenter des cartes avec une souris VTPlayer. Les résultats n’étaient pas meilleurs qu’une aide sonore : la navigation avec la souris a perturbé les utilisateurs. En introduisant une interface tangible, Wall et Brewster ont obtenu de meilleurs résultats [30], mais cette interface est spécifique au problème étudié.

La seconde proposition demande d’associer à une configuration tactile de la matrice une sémantique : un message peut être transmis plus ou moins indépendamment de l’image que véhicule le tracé tactile. Cette solution nous a paru plus pertinente. Sachant que la représentation mentale des personnes déficientes visuelles n’est pas forcément identique aux images qu’un voyant perçoit, vouloir reproduire à l’identique l’image ne semble pas adaptée.

Nous avons donc fait le choix de chercher à proposer une technique d’interaction tactile utilisant des matrices à picots pour véhiculer un message en utilisant une codification puisque :

- C’est un moyen pour migrer lentement vers l’apprentissage du Braille.
- C’est un outil qui n’a pas pour vocation à transcrire du Braille, car la taille des matrices est souvent plus grande.
- C’est un outil qui permet de stimuler son sens tactile.
- C’est un outil qui est accessible à des voyants, car il peut proposer des informations simples à comprendre.

Notre technique d’interaction tactile est définie par le couple $\langle d, l \rangle$ où d désigne un périphérique tactile avec matrice à picots (par exemple, la souris VTPlayer cf. Fig. 1. 1) et l est le langage d’interaction Tacton qui permettra de coder un message sur la matrice.

1.4.3.1. Définitions

Le langage d’interaction Tactons introduit dans le cadre du projet MICOLE est une extension des Tactons vibrotactiles de Brown et al. [31].

Définition 5 Un *Tacton vibrotactile* est un message tactile abstrait et structuré, pouvant être utilisé pour transmettre de l’information de manière non-visuelle.

Cette définition donne un bon aperçu de l’idée générale, mais elle est trop générique et ne permet pas de caractériser assez finement nos Tactons. Nous avons établi plusieurs définitions plus précises d’un Tacton pour une matrice à picots de dimension $n \times p$, chaque picot pouvant se trouver dans deux états : *bas* et *haut*.

Définition 6 Un *motif* m est défini comme la matrice représentant l’état de chaque picot $m_{i,j}$:

$$m_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{si l'état du picot } (i,j) \text{ est } \textit{bas} \\ 1, & \text{si l'état du picot } (i,j) \text{ est } \textit{haut} \end{cases} \quad 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq p$$

L’ensemble des motifs de taille $n \times p$ est noté $M_{n,p}$. Cet ensemble est fini et a pour cardinalité $\text{card}(M_{n,p}) = 2^{n \times p}$.

Définition 7 Un *Tacton statique* est défini par un motif. Ce motif est affiché jusqu’à ce que le Tacton change.

L’ensemble des Tactons statiques de taille $n \times p$, $TS_{n,p}$, est isomorphe à l’ensemble des motifs de taille $n \times p$, c’est-à-dire $M_{n,p}$.

L’ensemble des Tactons statiques est noté $TS = \bigcup_{n,p \in \mathbb{N}^*} TS_{n,p}$.

Définition 8 Une *image* est une étape d’une animation. On note une image $i = (m, d)$. Le motif m correspond à ce qui est affiché sur la matrice pendant l’étape de l’animation correspondant à l’image, et le nombre rationnel d correspond à la durée de l’image. Cette dernière n’a pas d’unité car elle correspond à un coefficient appliqué à l’unité temporelle de l’animation (voir définition 9 ci-dessous). 1 correspond à la durée de base, donc une image ayant une durée de 2 est affichée deux fois plus longtemps. Par contre, une image ayant un coefficient de 1/4 est affichée quatre fois moins longtemps.

Le motif peut être extrait grâce à la première projection : $\pi_1(i) = m$ et la durée peut être extraite à l’aide de la seconde projection : $\pi_2(i) = d$.

L’ensemble des images de taille $n \times p$, $I_{n,p}$, est le produit cartésien de l’ensemble des motifs de taille $n \times p$ et l’ensemble des nombres rationnels strictement positifs : $I_{n,p} = M_{n,p} \times \mathbb{Q}_+^*$

Définition 9 Un *Tacton dynamique* est une animation. On note un Tacton dynamique $t_d = (s, \tau)$. Le k-uplet d’images s correspond à la séquence de motifs à afficher, et l’entier naturel non nul τ représente l’unité temporelle (en millisecondes) de l’animation, c’est-à-dire le temps d’affichage d’une image de durée 1. Nous utilisons un nombre entier pour simplifier les raisonnements. Cependant, si nous avons besoin de plus de précisions nous pouvons diviser les durées des images. Néanmoins, il est peu probable que des résolutions inférieures à la milliseconde soient nécessaires.

La séquence d’images peut être extraite par la première projection : $\pi_1(t_d) = s$, et la $j^{i\grave{e}me}$ image peut être extraite par composition de cette projection avec la $j^{i\grave{e}me}$ projection sur le k-uplet obtenu : $\pi_j(\pi_1(t_d)) = (\pi_j \circ \pi_1)(t_d)$. L’unité temporelle peut être extraite à l’aide de la seconde projection $\pi_2(t_d) = \tau$. La durée d’un Tacton dynamique t_d peut être calculée par $\tau \times \sum_{j=1}^k d_j$, avec k la longueur de t_d , $\tau = \pi_2(t_d)$ l’unité temporelle de t_d et $d_j = (\pi_2 \circ \pi_j \circ \pi_1)(t_d)$. L’ensemble des Tactons dynamiques de taille $n \times p$, $Td_{n,p}$, est le produit cartésien entre les k-uplets d’images et l’ensemble des entiers naturels non nuls : $Td_{n,p} = \bigcup_{k=1}^{\infty} I_{n,p}^k \times \mathbb{N}^*$. k représente la longueur du Tacton, c’est-à-dire le nombre total d’images. L’ensemble des Tactons dynamiques est noté $Td = \bigcup_{n,p \in \mathbb{N}^*} Td_{n,p}$.

Définition 10 Les *paramètres* correspondent aux propriétés physiques des Tactons tels que définis dans la section précédente : motif, image, durée d’une image, unité temporelle et séquence d’images.

Définition 11 Les *dimensions* d’un Tacton correspondent à des propriétés logiques basées sur ses paramètres. La forme, la taille, la vitesse de clignotement ou la vitesse d’animation sont des exemples de dimensions. Ce sont des ensembles finis, donc lorsque l’on définit une dimension, on doit aussi définir ses valeurs. Par exemple $taille = \{grand, petit\}$ est une dimension.

Définition 12 L’*information* est le message à transmettre à l’utilisateur.

1.4.3.2. Expérimentations

Six expériences ont été menées pour identifier des ensembles de Tactons discriminables dont cinq pour reconnaître une information (une direction parmi les huit principaux points cardinaux) et une pour reconnaître trois informations (une direction parmi les huit principaux points cardinaux, une taille parmi « petit » et « grand » et une vitesse parmi « lent », « moyen » et « rapide »). La figure Fig. 1. 12 donne quelques exemples de Tactons testés et la figure Fig. 1. 13 décrit la logique d’imbrication de ces expériences ainsi que les Tactons testés.

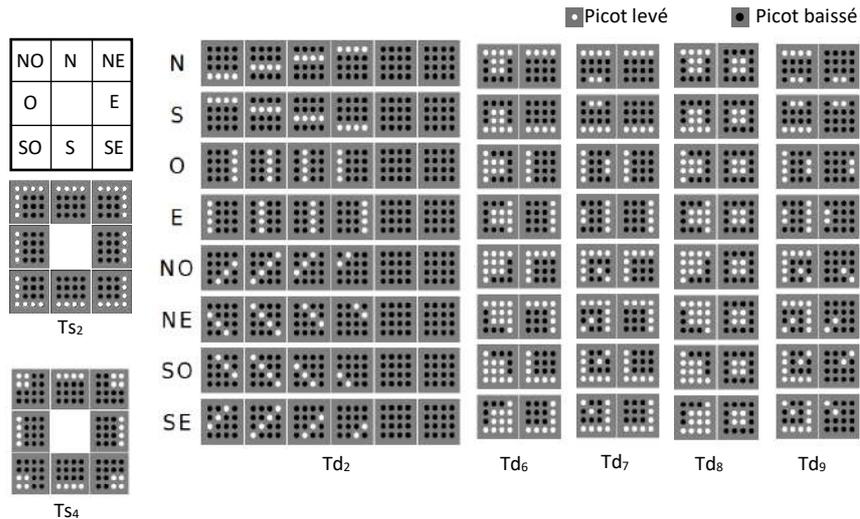


Fig. 1. 12 Exemples de Tactons utilisés dans les expérimentations pour représenter les 8 points cardinaux.

Pour ces premières expérimentations, les utilisateurs n'étaient pas déficients visuels, mais ne pouvaient pas voir les Tactons s'afficher car la main utilisant le périphérique haptique était cachée dans une boîte. Les Tactons doivent être faciles à reconnaître par des personnes qui n'ont pas forcément le sens tactile très développé. L'idée était de proposer une technique d'interaction accessible à tous et permettre à des personnes déficientes visuelles qui refusent d'apprendre le Braille ou qui n'ont pas encore développé un sens tactile très aigu de commencer progressivement à utiliser ce sens tactile pour acquérir des informations.

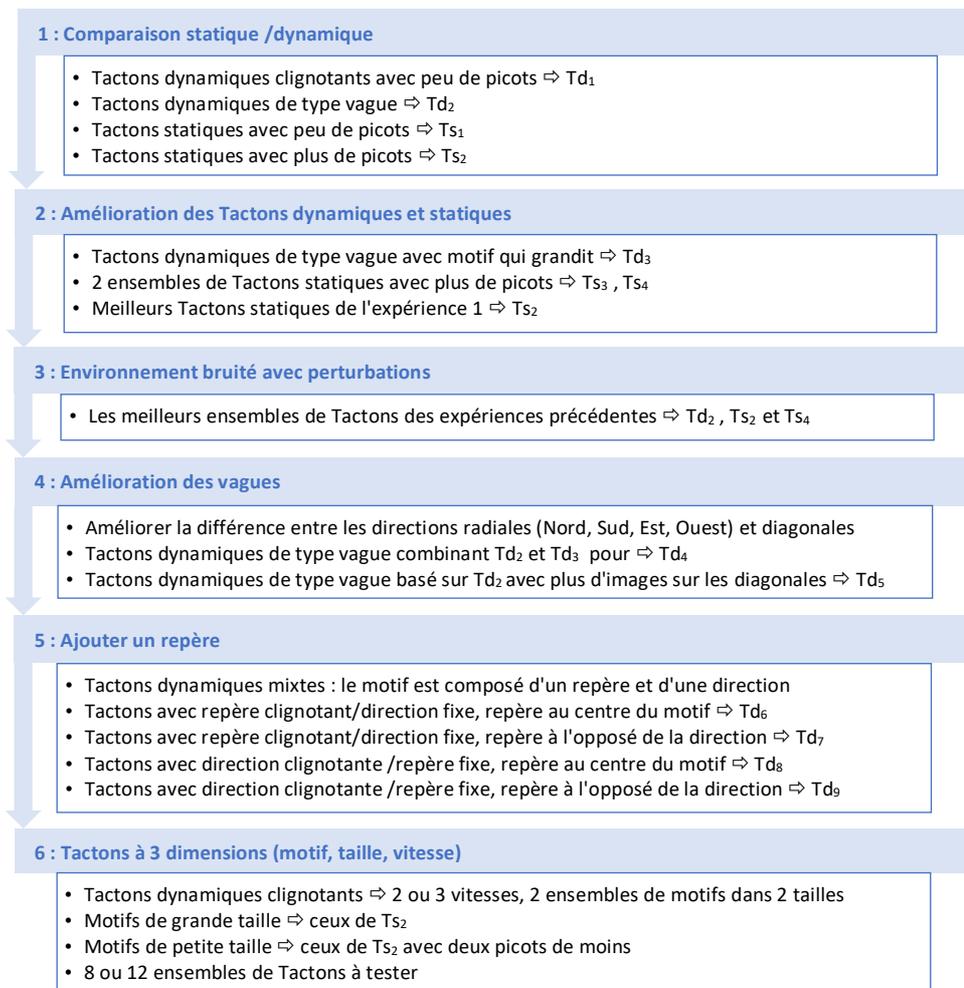


Fig. 1. 13. Logique des expérimentations et Tactons testés.

Je ne vais pas décrire en détail ces expériences qui sont parfaitement expliquées dans la thèse de Thomas Pietrzak [21], mais voici les principales conclusions des différentes expériences :

- Tactons statiques vs Tactons dynamiques :
 - Pas de différences significatives entre Tactons statiques et dynamique.
 - Tactons Ts₂ : le moins d'erreurs et le plus vite reconnu.
 - Tactons Ts₄ : reconnu significativement plus vite que les autres.
 - Augmenter le nombre de picots n'améliore pas la reconnaissance au contraire, que ce soit pour les Tactons dynamiques ou statiques.
- Tactons dynamiques de type vague :
 - Les trois Tactons de type vague ont des résultats similaires, mais les utilisateurs ont préféré les vagues améliorées de l'expérience 4.
 - Risque de sensation désagréable sur le doigt dû au mouvement de la vague.
 - Difficulté à trouver le sens de déplacement pour les vagues.

Chapitre 1 – Techniques d’interaction pour les personnes déficientes visuelles

- Tactons avec repère :
 - Pas de différences significatives.
 - Les résultats sont satisfaisants pour tous.
 - Les utilisateurs ont préféré le repère clignotant placé à l’opposé de la direction.
- Tactons à 3 dimensions :
 - La grande taille a un effet significatif sur la performance des utilisateurs qu’il y ait 2 ou 3 vitesses.
 - Les utilisateurs font moins d’erreurs s’il n’y a que 2 vitesses.
 - La quantité d’informations transmises est significativement supérieure avec 3 vitesses malgré un surplus d’erreurs.
 - La taille et la direction sont deux dimensions liées.

1.4.3.3. Exemple d’applications

L’idée était de tester l’utilisation des Tactons dans un contexte simple de géométrie. Lors des entretiens au cours du projet St Eucaire, l’enseignant nous avait fait part d’un véritable verrou en géométrie : la vérification précise d’un tracé. Cette tâche qui peut paraître simple pour un voyant est quasiment impossible pour un non voyant sans une aide extérieure, car les outils mathématiques adaptés ne sont pas précis. Bon nombre d’exercices de géométrie commencent par proposer une figure à analyser pour démontrer des propriétés, voire à compléter. Au début du projet MICOLE, les entretiens avec des élèves avaient également révélé que lorsqu’ils avaient des évaluations, les enseignants leur donnaient des rédactions à faire plutôt que de travailler sur des figures. Les élèves nous avaient alors fait part d’un sentiment d’injustice par rapport aux élèves voyants, car ils estimaient avoir un travail plus difficile à réaliser.

Sur la base de ces retours d’expérience, nous avons décidé de tester les Tactons dans deux cas d’usage : reconnaître un angle et parcourir une forme géométrique déjà tracée.

Reconnaître un angle

Le Tacton est utilisé pour transmettre un angle pendant une exploration d’un tracé ou parallèlement à un tracé. Notre problématique était de montrer qu’on peut trouver un ensemble de Tactons facilement discriminants et assimilables à des angles. Nous avons proposé un ensemble de Tactons qui respecte la stratégie suivante (cf. Fig. 1. 14) :

- Définir le premier quadrant (0° à 90°), puis déduire les autres par symétrie des motifs obtenus.
- Définir des points de référence dans les motifs pour que l’utilisateur puisse à tout moment s’y référer conformément aux recommandations de Sjöström [32]. Ces points vont permettre de localiser le quadrant.
- Représenter par pas de 15° les angles.

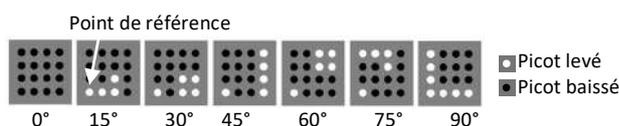


Fig. 1. 14. Tactons statiques pour représenter les angles du premier quadrant.

Un test préliminaire a été réalisé auprès de douze utilisateurs voyants pour tester ce premier quadrant. Les utilisateurs commençaient par une phase d’apprentissage des angles, puis pendant cinq sessions de cinq minutes ils devaient reconnaître des angles. À chaque erreur, la solution était donnée afin de voir s’il y avait un effet d’apprentissage au fil des sessions. Les résultats de ce test préliminaire ont montré qu’il y avait bien un apprentissage, mais que certains motifs étaient trop proches et avaient générés beaucoup d’erreurs lorsqu’ils étaient proposés consécutivement (15° avec 30° , 60° avec 75°). Ce travail illustre le potentiel de représentation de l’information des Tactons, mais aussi la difficulté de trouver les bons motifs.

Parcourir une forme géométrique

La méthode courante pour afficher des schémas à l’aide d’une matrice de picots est une méthode de traduction visuelle, qui est une simple correspondance des pixels sombres en picots levés. Il a été montré que cette méthode est inefficace [29], à moins qu’elle ne soit agrémentée d’un système de guidage [33][34]. Notre nouvelle méthode consiste à guider les utilisateurs sur la forme afin de les aider à la parcourir complètement. Elle est basée sur une représentation vectorielle de la forme à explorer. La forme est décomposée en segments sur lesquels l’utilisateur est guidé à l’aide de Tactons.

Pour définir les Tactons à utiliser, il faut d’abord identifier les informations à transmettre pour guider l’utilisateur sachant qu’il doit se déplacer le long de chaque segment. Deux cas se distinguent :

- L’utilisateur est sur la forme. Il faut alors lui indiquer la direction à suivre pour rester sur le segment et atteindre le prochain sommet, appelé la cible.
- L’utilisateur est en dehors de la forme. Il faut lui indiquer la direction à suivre pour retourner le plus rapidement possible sur la forme, i.e., la projection orthogonale ou une extrémité du segment.

Dans les deux cas, pour que l’utilisateur ajuste son déplacement il est important de savoir s’il est proche de la cible ou de la forme.

Il y a donc trois informations à transmettre : la direction, la distance et la localisation. Pour la direction, nous avons utilisé le motif de l’ensemble de Tactons les mieux reconnus lors de nos précédentes expérimentations : l’ensemble Ts_2 (cf. Fig. 1. 12). Par analogie avec un signal sonar, nous avons choisi la vitesse de clignotement du Tacton pour indiquer sa proximité avec la cible ou la forme. Deux vitesses sont implémentées selon les recommandations de notre expérimentation 6 (cf. Fig. 1. 13) : une vitesse élevée pour une faible distance et inversement. Pour se localiser, nous utilisons une simple association binaire avec un Tacton statique secondaire affiché sur la deuxième matrice de la souris VTPlayer et qui se trouve sous le majeur de la main : l’utilisateur est sur la forme quand tous les picots sont levés.

Les segments ont une épaisseur, fixée après une étude pilote. La cible est représentée par un demi-cercle dont le rayon est égal à l’épaisseur du segment (cf. Fig. 1. 15). L’utilisateur est guidé d’un segment à l’autre en boucle, c’est-à-dire que le trajet est imposé mais qu’il peut explorer la forme autant de fois qu’il le souhaite. Le Tacton principal est affiché sous l’index de la main, et ses caractéristiques dépendent de la position de l’utilisateur par rapport au segment.

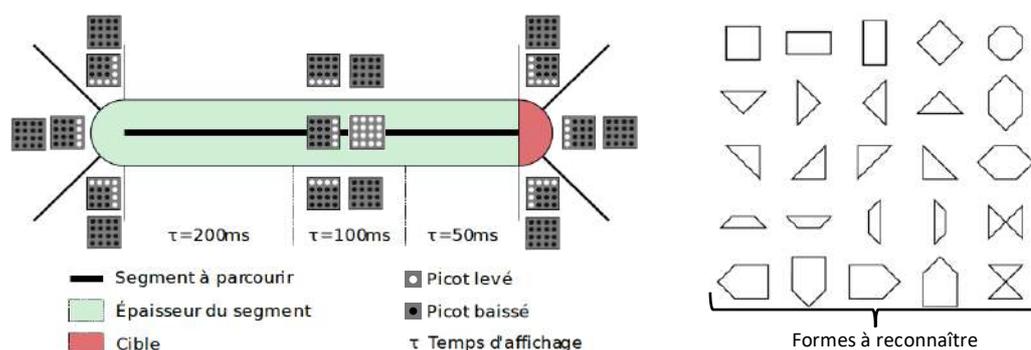


Fig. 1. 15. Guidage sur un segment avec des Tactons et formes testées.

Nous avons testé la différence entre deux modes d’exploration avec cette méthode : en unimanuel et en bimanuel. En mode unimanuel, le participant utilise sa main dominante à la fois pour explorer la forme, et pour ressentir les informations tactiles. En mode bimanuel, l’utilisateur explore la forme avec une tablette graphique dans sa main dominante, et ressent les Tactons sur la VTPlayer qu’il tient dans la seconde main et qui ne bouge pas. L’intérêt de la première méthode est qu’elle fournit des informations kinesthésiques venant du mouvement d’exploration sur la même partie du corps que celle qui donne les sensations tactiles. L’intérêt de la seconde méthode est qu’elle offre une solution alternative pour les utilisateurs aveugles, pour qui des études précédentes ont révélé que l’utilisation d’une souris peut être problématique [29]. Les tests ont été effectués avec des utilisateurs voyants occultés qui devaient reconnaître 10 formes parmi 25 possibles (cf. Fig. 1. 15).

Les résultats ont montré que les utilisateurs parviennent à explorer efficacement des formes géométriques de manière non-visuelle à l’aide de notre méthode, dans le sens où le nombre d’erreurs et le temps d’exploration étaient raisonnablement faibles. Nous n’avons décelé aucune différence significative entre les performances en unimanuel et en bimanuel. Ceci nous encourage à nous concentrer sur le mode bimanuel qui utilise une tablette graphique pour l’exploration et la souris VTPlayer en tant qu’afficheur tactile. La raison est que la tablette graphique utilise des coordonnées absolues, ce qui est plus pratique pour les utilisateurs aveugles que les coordonnées relatives d’une souris. Ainsi nous espérons contourner les problèmes soulevés par d’autres études [29].

Chapitre 1 – Techniques d’interaction pour les personnes déficientes visuelles

1.4.4. Application aux schémas de circuits électriques

Les résultats présentés dans cette partie correspondent à des travaux de la thèse de Thomas Pietrzak que j’ai co-encadrée. Ces travaux représentent le résultat final du projet MICOLE. Je vais présenter une synthèse des publications réalisées sur le sujet [IP5][IP21][IP38].

1.4.4.1. Motivations

Au début du projet MICOLE, nous avons réalisé plusieurs interviews avec des enseignants, mais surtout des élèves déficients visuels grâce à nos contacts avec des établissements scolaires (l’école Saint Eucaire de Metz, la cité scolaire Robert Schuman de Metz et la cité scolaire Georges de la Tour de Nancy) et un centre spécialisé (le centre Santifontaine de Nancy). Une vingtaine d’élèves ont pu être interviewés pour connaître les problèmes rencontrés à l’école. Plusieurs points importants ont été relevés :

- Un manque d’outils et de méthodes pour permettre la reconnaissance de schémas.
- Les dispositifs ou logiciels proposés sont souvent trop complexes à apprendre et nécessitent une assistance constante. Toute mise à niveau est problématique sans aide.
- Devoir utiliser des outils différents des autres est mal perçu à tel point que certains élèves se refusent à les utiliser pour ne pas marquer leur différence avec les élèves voyants.
- L’autonomie est souvent souhaitée, car ils ont conscience de devoir constamment dépendre de quelqu’un. C’est un problème en classe, mais aussi à la maison pour faire ses devoirs.
- La collaboration entre enfants est un point important, mais pas forcément pour avoir de l’aide. Il s’agit surtout de réduire les différences en utilisant les mêmes outils, mais surtout de pouvoir aider les autres. C’est une réelle collaboration dans le sens de participer avec les autres qui est souhaitée.

Que les élèves soient dans un milieu scolaire classique ou dans un établissement spécialisé, l’exploration de schémas pose problème. On aurait pu penser qu’en établissement spécialisé, les aides apportées puissent être satisfaisantes. Les élèves trouvent les schémas difficiles à comprendre pour plusieurs raisons :

- Ils contiennent trop de données.
- Les légendes sont compliquées et difficiles à corréliser avec le schéma, surtout si elles se trouvent sur une autre feuille.
- Le rendu n’est pas assez précis. Lorsqu’ils sont adaptés sur du papier en relief, ils sont simplifiés à l’extrême, d’où une perte d’informations.
- Il est difficile de trouver une information parmi d’autres, car il manque des points de références.

Nous avons choisi de développer une application couvrant la plupart de ces aspects : la reconnaissance de schémas de circuits électriques. Les circuits se limitent dans notre expérimentation à des composants simples : pile, lampe et résistance. Le but n’est pas de simplifier le schéma, mais de le rendre accessible à tous (voyants ou non) avec les mêmes informations. Nous avons choisi de ne pas tester le retour sonore dans notre application, car nous voulons nous concentrer sur les possibilités haptiques. De plus, le retour sonore peut être perturbant en situation réelle dans une salle de classe. Notre application utilise les deux techniques d’interactions présentées précédemment : < PHANToM Omni, PICOB > et < souris VTPlayer, Tactons >. Les deux mains de l’utilisateur sont sollicitées sans coordination nécessaire. Le PHANToM est utilisé pour la tâche principale, parcourir le circuit contrairement à la souris VTPlayer ; il est donc affecté à la main dominante pour une bonne interaction [20]. La souris VTPlayer reste pour la main non dominante. Afin d’illustrer les capacités collaboratives de l’application, il est possible à deux utilisateurs d’interagir : le premier représente l’utilisateur déficient visuel et le second l’utilisateur voyant qui a pour rôle d’aider le premier. Dans ce travail, l’utilisateur déficient visuel ne pourra pas aider l’autre utilisateur comme souhaité lors des interviews.

1.4.4.2. Usage de la multimodalité

En entrée, les tâches sont unimodales (une seule modalité proposée par tâche) : l’utilisateur déficient visuel explore les circuits avec un PHANToM, le second utilisateur l’explore avec une souris conventionnelle et l’utilisateur peut activer des commandes (pour gérer le guidage, activer l’aide directionnelle ou changer de main dominante). L’application devient multimodale du point de vue des sorties (cf. Tableau 2).

Les modalités proposées permettent de remplir les objectifs que nous nous sommes fixés. D’une part, la communication avec les enfants déficients visuels est favorisée puisqu’à chaque modalité visuelle est proposée au moins une modalité haptique. D’autre part, l’approche multimodale décrite facilite la communication entre enfants déficients visuels et voyants (autres enfants et enseignants). Un guidage automatique est mis en place pour permettre

à un enfant de travailler en collaboration avec soit un enseignant, soit un enfant voyant. L’avantage ici est de pouvoir offrir le même support de communication, même si les enfants n’utilisent pas la même modalité en sortie. De plus, l’approche multimodale tient compte de la diversité des enfants déficients visuels en favorisant la redondance d’informations. Par exemple, les composants sont donnés sous forme visuelle, tactile et de retour de force.

Tableau 2. Les tâches en sortie avec les modalités proposées.

Tâches élémentaires	Modalités en sortie
Reconnaître la forme du circuit	<écran, affichage 2D> <PHANToM, attraction> <PHANToM, guidage> <écran, guidage>
Reconnaître un composant	<écran, affichage symbole> <PHANToM, PICOB semi-guidés> <VTPlayer, Tactons statiques>
Reconnaître les directions possibles	<écran, affichage 2D> <PHANToM, PICOB guidés> <VTPlayer, Tactons dynamiques >
Reconnaître les zones déjà parcourues ou non	<écran, code couleurs> <PHANToM, PICOB guidés>
Localiser l’utilisateur	<écran, affichage > <PHANToM, guidage>

Si nous nous basons sur les propriétés CARE [35], les langages proposés pour une même tâche sont redondants si l’on ne considère pas l’état de l’utilisateur. En effet, pour un utilisateur aveugle, il peut y avoir assignation dans certains cas. Par exemple, le langage d’interaction d’attraction est assigné à la tâche de reconnaissance de la forme du circuit avec une durée permanente et une portée partielle. Pour un utilisateur voyant, les langages d’affichage 2D et d’attraction sont redondants avec une durée permanente et une portée partielle. Il faut noter que quel que soit l’utilisateur, le langage de guidage vient s’ajouter pour une durée temporaire, ce qui donne une relation de redondance avec les autres langages dans un contexte très précis. Les dispositifs, quant à eux, sont soit équivalents pour un langage donné, soit assignés. Ainsi, le PHANToM et l’écran sont non seulement équivalents pour le langage d’attraction mais aussi pour le langage de guidage. Par contre, le PHANToM est assigné au langage d’interactions PICOB, tout comme la souris VTPlayer au langage d’interactions Tactons.

1.4.4.3. Localiser les utilisateurs

La première tâche consiste à donner la possibilité aux utilisateurs de se repérer. Selon les tâches, un utilisateur peut se déplacer sur le circuit avec le PHANToM ou avec la souris classique. L’écran permet de connaître leur position : une boule jaune pour le premier et une boule rouge pour le second. Ces repères visuels ne sont pas les positions réelles des utilisateurs, mais des projections sur le circuit. Il s’agit d’attractions réalisées pour garantir le déplacement sur le circuit. Ces repères ne sont utiles que pour les utilisateurs voyant ou ayant encore une forte vision résiduelle. Par contre, l’utilisateur déficient visuel qui utilise le PHANToM pour se déplacer peut obtenir des informations sur sa position avec l’attraction que ce périphérique opère afin de contraindre l’utilisateur sur le circuit. Nous n’avons pas souhaité surcharger l’environnement, qui contient déjà beaucoup d’informations. L’utilisateur déficient visuel ne possède donc ni de moyen direct de connaître sa position ni celle du second utilisateur. Cependant lorsque le guidage du PHANToM par la souris est activé, le premier utilisateur est attiré par la position du second et a donc une idée de la direction où il peut se trouver.

1.4.4.4. Reconnaître un composant

L’application se veut simple, et ne comporte que trois composants électriques : la pile, la résistance et la lampe. Nous ajoutons deux objets : les fils et les nœuds. Les fils sont les portions de circuit sans composant, et les nœuds permettent de relier les fils et les composants entre eux. Trois modalités ont été utilisées pour représenter les composants.

Premièrement nous avons utilisé une représentation visuelle basée sur les symboles standards, issus des métaphores du monde réel. L’intérêt de cette représentation est double. D’une part, certains utilisateurs déficients visuels possèdent une vision résiduelle, et dans la plupart des cas ils souhaitent s’en servir. D’autre part, l’application est conçue pour être utilisée à la fois par des utilisateurs déficients visuels, et par des utilisateurs sans problème de vision.

Deuxièmement, nous avons utilisé des séquences de PICOB semi-guidés (cf. Fig. 1. 16). Comme le PHANToM est utilisé pour parcourir le circuit, il convient de définir les différents plans utilisés pour le circuit et les PICOB. Le circuit est représenté dans le plan horizontal. L’idée est de simuler le travail réel où le schéma est sur une feuille posée sur la table. Nous avons choisi de placer les PICOB orthogonalement au plan horizontal. Il s’agit de ne pas surcharger dans un même plan les connaissances transmises à l’utilisateur : dans un plan, il parcourt le circuit et obtient des informations sur le parcours et en dehors de ce plan, il obtient des informations sur la composition du circuit. L’application fournit deux niveaux d’exploration : un niveau global dans le plan horizontal pour reconnaître la forme du circuit et un niveau local orthogonalement à ce plan pour identifier les composants.

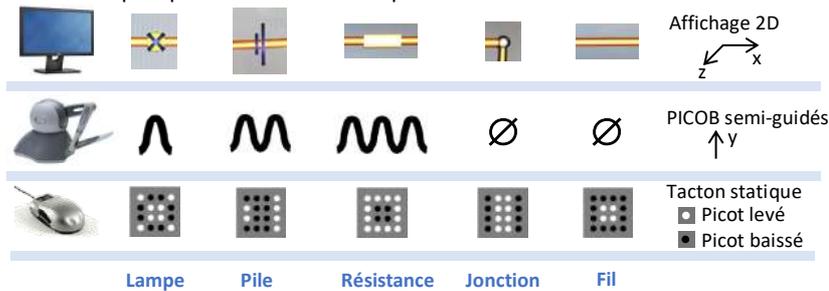


Fig. 1. 16. Représentation des composants.

Conformément aux tests préliminaires sur les PICOB semi-guidés, nous avons choisi d’utiliser une seule amplitude dans les séquences. Les composants à représenter sont limités : pile, lampe et résistance. Les fils et les nœuds sont ressentis par la contrainte de déplacement sur le circuit, et n’ont donc pas besoin de PICOB.

Troisièmement, nous avons utilisé des Tactons statiques sur la VTPlayer en utilisant la matrice de picots sous l’index pour représenter les composants, les fils et les nœuds. Les motifs ont été choisis par analogie avec la représentation visuelle, car ces symboles sont utilisés sur les représentations classiques à base de papier en relief. L’évaluation de la reconnaissance de ces Tactons s’est faite de manière informelle. L’évaluation finale de l’application montrera si le codage est adapté ou pas.

1.4.4.5. Reconnaître la forme du circuit

La reconnaissance de la forme du circuit est une tâche importante pour la compréhension globale du circuit. Elle s’appuie tout d’abord sur une représentation visuelle formée des différentes parties du circuit : composants, fils et nœuds. Le retour haptique a été utilisé de deux manières pour permettre à l’utilisateur de ressentir la forme du circuit. Tout d’abord, le PHANToM est attiré vers le circuit grâce à une force de type ressort. Ainsi l’utilisateur reste en permanence en contact avec le circuit, tel que le recommande Calle Sjöström [32] dans ses recommandations sur l’usage de l’haptique dans les interfaces pour déficients visuels.

Nous avons ensuite ajouté deux systèmes de guidage, pendant lesquels la représentation des composants est suspendue. Le premier guidage est un système basé sur la métaphore du magnétophone. Un utilisateur peut enregistrer un parcours avec le stylet du PHANToM. Ce parcours enregistré peut ensuite être rejoué par lui-même ou par un autre utilisateur. Nous avons voulu répondre à deux problèmes soulevés lors des entretiens préliminaires :

- Les enseignants ne sont pas toujours disponibles, donc pouvoir travailler en autonomie est important. Le système de l’enregistrement permet à l’enseignant de préparer des aides pour reconnaître plus rapidement le schéma sans oublier des zones.
- Il est très difficile de travailler à la maison sur les schémas, car l’enseignant n’est pas là pour aider et l’enfant n’a pas toujours sa famille qui peut l’aider (manque de temps, absent ou n’a pas les connaissances suffisantes).

Le stylet du PHANToM est attiré le long du parcours enregistré. L’utilisateur doit se laisser guider. Il peut toutefois revenir en arrière ou changer de parcours pendant le guidage automatique ; le système garantit qu’il pourra revenir sur le chemin enregistré. Une attraction de type ressort est calculée, et est combinée à l’attraction sur le circuit.

Le second guidage est effectué en temps réel. Il renforce la communication entre deux utilisateurs : l’un est considéré comme le guide, l’autre comme l’apprenant. Le guide, supposé voyant, utilise une souris standard et l’apprenant le

PHANToM pour parcourir le circuit. Le guide parcourt le circuit et l’apprenant est automatiquement attiré vers la position du guide. Ici nous avons voulu non seulement permettre la collaboration sur les mêmes outils, mais aussi répondre à un problème évoqué par un élève : les enseignants n’osent pas prendre la main de l’élève pour lui montrer comment parcourir le schéma alors que c’est le moyen le plus sûr de tout reconnaître. En proposant un contrôle déporté de la main de l’élève, cette barrière est levée.

1.4.4.6. Reconnaître les directions possibles

À tout moment l’utilisateur peut demander de l’aide au système pour savoir dans quelles directions il peut se déplacer. De manière visuelle cette information correspond à la portion de circuit affichée autour du curseur jaune, représentant la projection du PHANToM sur le circuit. L’utilisateur peut aussi cliquer sur le bouton du PHANToM pour recevoir des informations de manière redondante, codées à l’aide des techniques d’interaction décrites ci-dessus. Une séquence de PICOB guidés indique les directions possibles (cf. Fig. 1. 17).

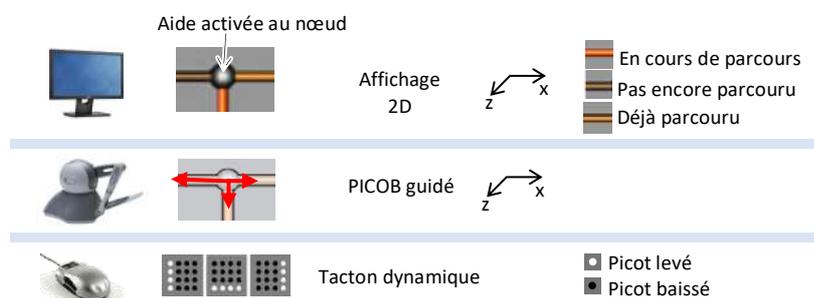


Fig. 1. 17. Modalités pour reconnaître les directions possibles.

Les mêmes informations directionnelles sont affichées sur la souris VTPlayer avec un Tacton dynamique (cf. Fig. 1. 17). Afin de limiter les désavantages des Tactons dynamiques, nous avons augmenté le temps de présentation de chaque direction afin que l’utilisateur puisse les parcourir comme des Tactons statiques. L’idée est d’afficher, à la demande de l’utilisateur, les directions qu’il peut prendre en tout point du circuit. Les motifs sont ceux du meilleur ensemble de Tactons statiques utilisés pour nos tests préliminaires sans les diagonales : Ts₂. Ainsi, à la demande de l’utilisateur, les motifs correspondants aux directions possibles se succéderont sur la matrice créant un Tacton dynamique pour indiquer les chemins à l’utilisateur.

1.4.4.7. Reconnaître les zones déjà parcourues

De manière complémentaire à la tâche précédente, il est intéressant pour l’utilisateur de savoir quelles sont les directions qu’il a déjà explorées (cf. Fig. 1. 17). Ces informations lui sont fournies en même temps que les informations de direction. Visuellement, un code de couleur est utilisé pour différencier le fil en cours de parcours, ceux déjà parcourus et ceux non parcourus. Ces informations permettent par exemple à un second utilisateur de donner des indications à l’utilisateur déficient visuel. Le choix des couleurs est arbitraire, car ce n’était pas le but de l’application de les définir, mais juste de montrer un potentiel d’usage.

L’information selon laquelle l’objet a déjà été parcouru ou non est donnée à l’aide de l’amplitude des PICOB guidés codant les directions voisines possibles : une petite amplitude signifie que l’objet a déjà été parcouru, alors qu’une grande amplitude signifie que l’objet n’a pas encore été parcouru. Les amplitudes utilisées sont issues des expériences préliminaires sur les PICOB évoquées précédemment.

1.4.4.1. Expérimentation

Objectifs

L’objectif de cette expérimentation est de mesurer les performances des participants lors du premier usage de l’application à deux niveaux :

- La reconnaissance des formes de circuit.
- La reconnaissance des composants.

Chapitre 1 – Techniques d’interaction pour les personnes déficientes visuelles

L’application est à la base collaborative sur le principe enseignant/apprenant. Il est important de mesurer l’impact de l’enseignant sur les performances du participant. Aussi, l’expérimentation a été faite selon deux conditions : avec et sans aide de l’enseignant. Le but n’étant pas de tester les techniques d’interactions, qui ont déjà été évaluées lors d’études précédentes, mais bien de tester l’application en conditions réelles. Les utilisateurs possédant une vision résiduelle pouvaient utiliser cette vision résiduelle pour accomplir les tâches s’ils le désiraient.

À travers cette expérimentation, nous désirons évaluer également l’usage de la multimodalité. L’observation des tests et un questionnaire post-expérimentation permettront d’évaluer les modalités les plus utilisées ainsi que leur cadre d’usage. Tout au long de l’expérimentation, chaque participant est libre d’utiliser la modalité qu’il désire.

Participants

Treize enfants déficients visuels âgés de 9 à 17 ans ont pris part aux tests. Dix enfants possédaient une vision partielle et trois étaient aveugles. Parmi les trois enfants aveugles, deux l’étaient de naissance. Deux enfants présentaient une légère déficience mentale. Certains participants connaissaient déjà le PHANToM et la souris VTPlayer, car ils avaient déjà participé à de brefs tests antérieurs. Certains participants avaient déjà utilisé des périphériques haptiques essentiellement à travers des jeux : joystick vibrant, joystick et volant à retour de force. Tous les participants connaissaient les circuits électriques, les piles et les lampes. Six participants ne connaissaient pas les résistances.

Les participants provenaient de trois institutions (4 de l’école primaire Saint Eucaire à Metz, 2 de la cité scolaire Robert Schumann à Metz et 7 du Centre Santifontaine à Nancy). Les tests de l’école Saint Eucaire et de la cité scolaire Robert Schumann ont été réalisés dans l’établissement scolaire. Par contre, les enfants ne sont pas toujours présents dans l’enceinte du centre Santifontaine. Aussi, nous avons réalisé quatre tests chez eux et trois au centre. Tous les enfants suivent une scolarité intégrée en classe avec des enfants voyants sauf les trois enfants pour lesquels les tests ont été réalisés au centre Santifontaine. Les tests ont été réalisés à l’école, au lycée ou au centre durant les horaires de classe. Par contre, les tests à la maison ont été réalisés hors période scolaire.

Méthodologie

L’aspect collaboratif a été mesuré en utilisant deux conditions d’exploration :

- condition 1 : le participant utilise l’application pour explorer un circuit sans aucune assistance de la part de l’enseignant.
- condition 2 : le participant utilise l’application pour explorer un circuit avec l’assistance de l’enseignant. Cette assistance se fait à l’initiative du participant ou de l’enseignant mais toujours avec l’accord du participant.

L’enseignant peut aider le participant en lui indiquant ses erreurs après avoir reçu ses réponses. Il peut aussi lui rappeler les consignes, et en particulier les représentations de chaque composant.

Les circuits testés utilisent les trois composants électriques présentés plus haut. Nous avons restreint les formes de circuits à trois formes simples (cf. Fig. 1. 18). Il n’était pas demandé de distinguer le carré du rectangle.



Fig. 1. 18. Les trois formes de circuits.

Nous avons conçu au total huit circuits sur la base de ces trois formes et utilisant les trois composants (cf. Fig. 1. 19). Nous avons aussi créé un circuit d’apprentissage, qui possède les trois composants et des intersections à trois directions possibles afin de pouvoir expliquer les différents systèmes de guidage aux utilisateurs.

L’affichage s’appuie sur un écran 17” 16/10 avec une résolution de 1920x1600 pixels. Pour chaque participant, un PHANToM Omni et une souris VTPlayer sont attachés au système. La souris VTPlayer n’est utilisée que comme afficheur, et pas comme un périphérique de pointage. L’enseignant utilise une souris ordinaire pour l’assistance. L’enseignant et le participant peuvent se servir du retour visuel. Par contre, seul le participant peut utiliser le retour haptique avec sa main dominante (PHANToM) et sa main non dominante (VTPlayer).

Pour chaque expérimentation, toutes les actions du participant et de l’enseignant sont enregistrées et après accord signé, une vidéo est conservée. L’hétérogénéité des participants ne permet pas de dégager de statistiques significatives, c’est pourquoi nous avons adopté une analyse qualitative.

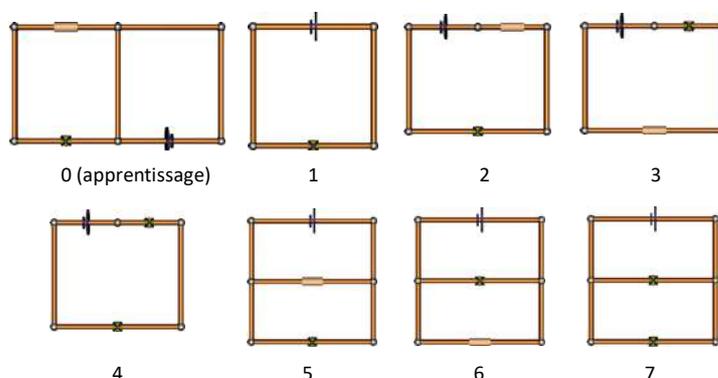


Fig. 1. 19. Les circuits proposés à l’exploration.

Procédure

Chaque participant commence par remplir un premier questionnaire préliminaire. L’expérimentateur qui joue le rôle de l’enseignant explique les objectifs de l’expérimentation. Ce sera le même pour tous les tests. Le test commence par une phase de prise en main du matériel, le PHANToM et la souris VTPlayer. L’expérimentateur explique les caractéristiques des périphériques et comment les utiliser. À ce stade, des programmes de démonstration sont utilisés. Pour la souris VTPlayer, il s’agit d’un programme faisant ressentir des icônes directionnelles. Pour le PHANToM, il s’agit des programmes de démonstration du constructeur du périphérique et de l’API Reachin, partenaire du projet MICOLE. Cette phase dure environ 10 minutes jusqu’à ce que l’enfant se sente prêt à utiliser les périphériques.

Un premier circuit électrique correspondant au circuit 0 (cf. Fig. 1. 19) est présenté afin de familiariser chaque enfant avec l’exploration d’un circuit et avec la représentation de tous les composants avec les Tactons et les PICOB. Il est précisé que le bouton du stylet sur le PHANToM peut être utilisé à tout moment pour obtenir de l’aide sur les directions de déplacements possibles (avec les Tactons et les PICOB). L’expérimentateur montre un exemple de guidage à l’aide de la souris. Avant le guidage, il est rappelé qu’il faut tenir fermement le PHANToM afin de se prémunir contre toute blessure. Le guidage par enregistrement n’a pas été testé dans notre expérimentation.

Pendant cette phase d’apprentissage, l’enfant peut poser autant de questions qu’il le désire à propos des composants ou de la navigation jusqu’à ce qu’il se sente à l’aise tant du point de vue de la navigation dans le circuit que sur la reconnaissance des composants avec les Tactons et les PICOB. Cette phase d’apprentissage dure entre 5 et 10 minutes.

Tableau 3. Questionnaire post-expérimentation.
Réponses sur une échelle de 1 (pas d’accord) à 4 (d’accord)

Les composants sont difficiles à identifier.
Il est difficile de parcourir les circuits en entier.
Le fait d’être contraint sur le circuit aide à parcourir les circuits.
Le guidage du PHANToM par la souris n’aide pas à parcourir les circuits.
Les Tactons dynamiques aident à parcourir les circuits.
Les Tactons sont difficiles à reconnaître.
J’ai réussi à identifier tous les composants.
Les Tactons statiques sont plus utiles que les PICOB semi guidés pour identifier les composants.
La présence de l’enseignant aide à mieux comprendre le circuit.
La méthode traditionnelle permet de mieux comprendre des schémas de circuits électriques.

La procédure de test commence à l’issue de la phase de prise en main. Chaque participant explore aléatoirement six circuits, tous différents, parmi ceux de 1 à 7 (cf. Fig. 1. 19). Les deux conditions sont utilisées alternativement entre les participants et entre les circuits. Au cours de l’exploration, il est demandé à chaque participant de :

- Dire le nom d’un composant lorsqu’il passe dessus.

Chapitre 1 – Techniques d’interaction pour les personnes déficientes visuelles

- Indiquer la forme du circuit.
- Tenir compte du temps afin de réaliser la tâche dans un temps raisonnable.

À la fin de l’expérimentation, le participant doit remplir un questionnaire. Le Tableau 3 liste les questions posées.

Résultats

L’expérimentation menée confirme la diversité des personnes à besoins spécifiques. Chaque participant possède ses propres caractéristiques et il apparaît difficile voire impossible de généraliser. Chaque expérience permet de tirer un enseignement différent. Une remarque importante concerne l’aspect multimodal de l’application et la satisfaction des participants quant à l’usage de l’application. Il apparaît important de ne pas « frustrer » les enfants en supprimant le retour visuel. Seul un participant déficient visuel a annoncé vouloir se passer du retour visuel alors que la plupart des participants ont une déficience visuelle évolutive pouvant les amener à devenir aveugle. À l’usage, d’autres participants ont plus utilisé le retour haptique mais sans l’annoncer. À ce titre la moitié des participants a préféré le retour tactile au retour d’effort. La redondance des langages sur une même tâche donnée a permis aux participants de choisir sans contrainte leur modalité préférée.

De la même façon le non usage du Braille a été apprécié par les enfants déficients visuels. En effet, avec certains participants, une réserve apparaît rapidement dès lors que l’on parle de Braille : le fait de parler d’icône ou de dessin a levé toute réserve. À l’usage cela peut vraiment représenter une étape intermédiaire vers la pratique du Braille. À l’inverse, un participant brailleux a été gêné par les Tactons car il voulait les lire en Braille. Il convient dans certains cas, de tenir compte du Braille dans la conception des Tactons ou de faire deux représentations différentes même si ce n’était pas l’objectif initial de notre application.

La reconnaissance des formes des circuits a posé problème à tous les participants aveugles ou n’ayant pas utilisé leur vision résiduelle. Un participant qui a réalisé deux erreurs a mis en place une stratégie d’exploration basée sur un point de départ (référence) en bas à gauche. Ce point apparaît comme essentiel et nous avait d’ailleurs été notifié pendant les interviews, mais il est vrai que l’application ne l’intégrait pas. Nous envisageons de placer des balises haptiques, telles que proposées par [36]. Pour certains participants, les erreurs se sont accompagnées de parcours partiels. Ils ont pourtant utilisé les Tactons dynamiques censés les aider dans le parcours. Malgré leur satisfaction à ce niveau, les résultats ne le confirment pas. Il est possible de douter de l’efficacité des Tactons dynamiques en l’état actuel : la reconnaissance des directions était bonne, mais cela n’a pas permis d’améliorer l’exploration de manière significative. Une amélioration à ce niveau est nécessaire voire un apprentissage. L’usage des PICOB guidés n’a pas fonctionné dans cette application. Seul un participant les a vraiment utilisés. Nous pensons qu’un apprentissage plus long est nécessaire pour montrer leur utilisation auprès des participants.

La reconnaissance de composants a produit proportionnellement moins d’erreurs. La lampe fait toujours partie des erreurs, le plus souvent avec la résistance mais parfois avec la pile. Certains utilisateurs ont reporté que le Tacton associé à la lampe était difficile à reconnaître. L’apprentissage n’était pas l’objectif premier de nos tests. Pourtant, les participants qui ont fait des erreurs dans les premiers circuits ont fait moins d’erreurs dans les suivants après avoir acquis une certaine expérience dans l’usage des périphériques et surtout dans la reconnaissance des PICOB semi-guidés et des Tactons statiques. Par exemple, un participant fait trois erreurs de reconnaissance de composants dans les trois premiers circuits. Il s’est alors senti plus à l’aise avec les Tactons que les PICOB pour reconnaître les composants. Par la suite, il n’a plus fait d’erreurs. Pour deux participants, l’effet d’apprentissage n’a que très peu joué. Il apparaît que leur nervosité et la légère déficience mentale dont ils souffraient ont influé sur leurs résultats. Ce point est important car d’après les éducateurs, la déficience mentale est de plus en plus fréquente chez les enfants aveugles de naissance. Cet aspect est à prendre en compte avec notamment des périodes d’apprentissage plus longues et certainement des temps de sessions plus courts afin d’éviter un stress, une fatigue ou une excitation trop importante.

1.5. Conclusion

Les travaux présentés dans ce chapitre avaient pour but de concevoir de nouvelles techniques d’interaction haptique pour aider les enfants déficients visuelles en milieu scolaire. Le but n’étant pas de concevoir de nouveaux périphériques haptiques, nous nous sommes concentrés sur la définition de nouveaux langages pour décrire ces nouvelles techniques d’interactions.

Chapitre 1 – Techniques d’interaction pour les personnes déficientes visuelles

Dans un premier temps, il a fallu comprendre la problématique rencontrée à l’école par les élèves déficients visuels, puis voir si la technologie haptique leur était abordable. Le projet St Eucaire a permis d’y répondre et a surtout ouvert beaucoup de pistes intéressantes tout en mesurant les limites de l’utilisation de périphériques haptiques. En effet, nous avons vu que les enfants arrivent à ressentir les objets virtuels et à reproduire certains exercices de géométrie 2D et 3D. Par contre, il est important de bien cibler les acquis des élèves pour voir s’ils seront en capacité d’utiliser de telles périphériques. Nous avons vu qu’un enfant trop jeune n’arrivait pas à se concentrer sur le monde virtuel, car il était trop intrigué par l’aspect physique du matériel haptique. De plus, comme les périphériques haptiques utilisent le sens du toucher, la prise en main doit être correcte sous peine de mal ressentir le retour haptique. Un apprentissage est nécessaire avant toute utilisation. Lors des exercices de reconnaissance de formes 3D, la majeure partie des erreurs de reconnaissance étaient dues à un manque d’aide dans les stratégies d’exploration. C’est une piste intéressante qui ne remet pas en doute l’haptique, puisqu’il s’agit justement de l’utiliser pour faciliter les stratégies d’exploration.

Dans un second temps, nos travaux sur l’haptique se sont poursuivis dans le cadre du projet MICOLE. Ce projet a permis de fixer un contexte précis d’usage de l’haptique : pouvoir coder l’information pour pallier le retour visuel pour permettre à des enfants déficients visuels de collaborer en classe avec d’autres participants voyants de la classe (élèves ou enseignant). Nous avons introduit deux langages d’interactions : PICOB un langage à retour de force et Tacton un langage à retour tactile. Ces deux langages sont utilisés dans des techniques d’interaction où les périphériques utilisés sont issus de deux grandes familles de périphériques haptiques : les périphériques de type bras articulés et les périphériques de type matrices à picots. Le but de ces langages est de ne pas être dédiés à un périphérique spécifique pour avoir un plus vaste domaine d’applications. Pour nos tests nous avons utilisé comme périphériques : un PHANTOM pour les PICOB et une souris VTPlayer pour les Tactons. Plusieurs tests ont été menés pour mesurer les capacités de codage de ces deux langages, puis ils ont été utilisés dans une application plus importante d’exploration de schémas de circuits électriques. Les résultats sont encourageants : tous les enfants ont manifesté leur intérêt pour l’application, la jugeant plus facile à utiliser que les schémas sur papier en relief. Le non-usage du Braille pour la codification des composants a également motivé les enfants possédant une vision résiduelle.

La multimodalité a montré tout son intérêt et en particulier en terme de redondance :

- La plupart des enfants qui possèdent une vision résiduelle ont préféré utiliser leur vision lorsque cela était possible.
 - La moitié des enfants a préféré utiliser le retour tactile alors que l’autre moitié a préféré utiliser le retour d’effort.
- Il faut remarquer que même si les enfants ont affirmé avoir utilisé plus une modalité qu’une autre, ils ont reçu les informations transmises par les autres de toute façon (sauf pour la modalité visuelle pour les non-voyants), ce qui a pu tout de même les aider à confirmer leur exploration. Il serait intéressant d’étudier d’autres formes de multimodalité telles que la complémentarité dans laquelle plusieurs modalités sont combinées pour former un seul message.

Le langage PICOB semi-guidé a été utilisé pour représenter trois composants différents. Il était donc facile de les distinguer. L’application contenant peu de données, l’ensemble d’impulsions à tester est resté limité. Les études préliminaires avaient montré un potentiel plus important en terme de codage d’informations. Il serait donc intéressant d’identifier des cas d’usage permettant la mise en place d’un ensemble de PICOB semi-guidés plus important. Quant au langage PICOB guidé utilisé pour indiquer des directions possibles, il n’a pas vraiment été testé, car il devait être déclenché à l’initiative des élèves, qui n’y ont pas forcément pensé. Il faudrait revoir son utilisation ou du moins son mode de déclenchement qui pourrait être plus intuitif en fonction des parcours effectués. Certains enfants ne voulaient absolument pas utiliser d’aide, peut-être pour montrer qu’ils avaient les capacités d’y arriver seul, parce qu’on les aide trop souvent et ont l’impression de trop dépendre des autres. Il faudrait que le système puisse s’adapter seul et ajouter des aides progressivement sans que l’enfant se rende compte qu’il est aidé. De manière générale, les PICOB ont été utilisés pour représenter trois types d’informations : des objets (des composants électriques), des directions et des graduations. Il serait intéressant d’aller plus loin et d’étudier quelles informations ce langage pourrait permettre de coder.

Le langage Tacton a clairement montré qu’il était un atout pour débiter le Braille. Dès que les enfants ont su que ce ne serait pas du Braille qui serait affiché sur les matrices, ils ont été motivés pour faire le test. Ce langage peut clairement aider à amener les enfants vers l’apprentissage du Braille en leur montrant qu’on peut transmettre une information sous les doigts. Il permet d’aiguiser leur sens tactile. L’avantage est qu’il est accessible à un voyant, car son apprentissage reste simple. Il reste à étudier d’autres contextes d’usage et à identifier plus précisément les domaines d’application des Tactons statiques par rapport aux Tactons dynamiques.

Chapitre 1 – Techniques d'interaction pour les personnes déficientes visuelles

Enfin, l'expérimentation était conçue pour encourager l'aspect collaboratif. Pourtant, les enfants ont pris la tâche comme un exercice et ont fortement limité l'usage de l'aide et donc du guidage automatique. Certains sont allés jusqu'à refuser l'aide proposée par l'enseignant. Ce point est à améliorer afin de rendre cette aide plus naturelle ou plus ludique. De manière générale, un travail sur les stratégies d'exploration s'est à nouveau révélé essentiel comme dans le projet St Eucaire. Beaucoup d'erreurs ont été commises notamment par manque de points de référence.

Chapitre 1 – Techniques d'interaction pour les personnes déficientes visuelles

Chapitre 2

Technique d'entrée de texte en situation dégradée

2.1. Motivations

Mes travaux de recherche autour de nouvelles techniques d'interaction haptique pour les enfants déficients visuels portaient exclusivement sur la sortie i.e. sur la problématique de transmettre des informations à l'utilisateur. Parallèlement à ces travaux, l'attrait croissant pour l'informatique mobile tendait à multiplier les modes de saisie alors que les besoins des utilisateurs changeaient. Plus d'utilisateurs pouvaient avoir accès à ces dispositifs, ce qui a créé des attentes et des besoins très différents. Ajouté à cela le contexte d'utilisation très variable, voire dégradé rendaient les claviers standard inutilisables. En totale contradiction à ce constat, les avancées technologiques des nouveaux dispositifs mobiles offraient de nouveaux champs d'actions.

C'est dans ce contexte que j'ai entrepris des travaux autour de l'entrée de texte. Je pouvais ainsi étendre mon champ d'action en m'intéressant à l'entrée i.e. à la transmission d'informations pour le système. Ma problématique reste centrée utilisateur. Il s'agit de trouver des techniques d'interaction permettant de saisir du texte en situation dégradée en tenant compte des utilisateurs avec comme objectif de favoriser simplicité d'usage et satisfaction de l'utilisateur. Une réelle aide doit être mise en place.

2.2. Démarche

Pour réussir dans ce nouvel axe de recherche, il a fallu agir sur plusieurs points stratégiques :

- Comprendre la notion de dégradation.
- Identifier les utilisateurs visées.
- Disposer d'une équipe de recherche solide.

2.2.1. Comprendre la notion de dégradation

Le travail réalisé s'articule autour du concept de dégradation de la tâche de saisie de texte. Pour commencer, il est important de clarifier cette notion de dégradation appliquée au domaine de l'entrée de texte. En général, une dégradation est une action d'endommagement ou d'altération. Ainsi une situation est dégradée si elle a subi des modifications qui l'ont altérée. Il est difficile d'identifier la dégradation sans une situation de référence i.e. la situation avant la dégradation.

2.2.1.1. La situation de référence

Nous avons envisagé deux solutions pour la définition de la situation de référence :

- Une situation optimale.
- Une situation standard.

La solution optimale correspondrait à la meilleure situation pour la saisie de texte. C'est très difficile à définir, voire impossible, car il faudrait trouver les meilleures performances en terme d'entrée de texte. Or, il y a trop d'éléments à prendre en compte parmi lesquels la vitesse, la précision, la charge mentale, le confort ou encore les capacités d'édition. La seconde possibilité, la situation standard correspond à une situation répandue, habituelle, commune. Il s'agit d'une situation dans laquelle se reconnaît le plus de gens. Nous avons choisi de nous orienter vers la seconde solution, en essayant d'y optimiser le contexte. Par exemple, bien que ce ne soit pas toujours le cas, nous considérons notre situation comme dans un contexte calme, non bruyant, avec des conditions d'installations optimales en terme de fiabilités du matériel et confort pour l'utilisateur.

La situation de référence peut varier au fil du temps, mais celle que nous avons utilisé correspond à notre période de recherche (2005-2013). Elle est définie comme suit :

- Un utilisateur « presque expert » : l'utilisateur est une personne sans handicap quelconque, habituée à l'utilisation de son mode de saisie de texte (ici un clavier physique), ni stressée, ni pressée.
- Le système utilisé est un ordinateur de bureau.
- Le périphérique de sortie est un écran d'une taille minimum de 17 pouces.
- Les périphériques d'entrée sont un clavier physique de type « AZERTY » et d'une souris.
- Le contexte est un environnement de type bureau, avec des conditions d'installations ergonomiques et optimales.
- L'utilisateur est au calme, sans bruit, sans la moindre distraction extérieure.

Pour que la situation soit considérée comme dégradée, il est nécessaire qu'elle soit altérée par rapport à notre situation de référence. Il faut au minimum qu'un des éléments de la situation de référence subisse une modification qui

Chapitre 2 - Technique d'entrée de texte en situation dégradée

impacter les performances ou qui entraînera une incapacité à produire du texte. À chaque dégradation, il faut trouver des solutions adaptées. Pour y parvenir, il faut définir les facteurs qui ont provoqué ces dégradations pour mieux comprendre les raisons de ces dégradations et mettre en place les meilleures solutions.

2.2.1.2. Les facteurs de dégradation

À partir de la situation de référence, on distingue plusieurs catégories de facteurs qui, une fois dégradés, peuvent entraîner une dégradation de la tâche.

L'utilisateur

L'utilisateur lui-même peut être à la source de la dégradation. Tout d'abord, on peut parler du niveau d'expertise de l'utilisateur. Dans la situation de référence, l'utilisateur est expert dans le système utilisé, s'il ne l'est plus, mais surtout s'il est débutant, ses performances vont être réduites. Un clavier très performant pour un expert peut être extrêmement difficile à maîtriser et ainsi, produire des performances nettement inférieures pour un débutant. C'est encore plus vrai si l'utilisateur est débutant sur le système utilisé mais s'il possède un niveau d'expérience plus élevé sur une autre technique. Il peut rencontrer plus de difficultés pour apprendre par manque de motivation. Changer ses habitudes, surtout quand on les trouvait optimales est un frein à l'apprentissage. C'est le cas rencontré par le clavier Dvorak [37]. Il s'agit d'un clavier dont la disposition des touches est optimisée par rapport au clavier Qwerty, mais l'apprentissage était trop long pour des utilisateurs expert en clavier Qwerty pour rendre ses performances motivantes à atteindre.

Les problèmes physiques de l'utilisateur, liés à l'âge ou à un handicap par exemple, peuvent également diminuer ses performances, voire rendre l'utilisation de certains périphériques complètement impossible. Par exemple, une personne atteinte d'une déficience motrice sévère pourra être dans une incapacité totale à utiliser un clavier standard. Les handicaps moteurs sont très variés, pouvant aller d'un simple tremblement de certains membres, à une paralysie totale. Guerrier et al. ont identifié les systèmes de communication adaptés à des utilisateurs avec un handicap moteur sévère, celui des Infirmes Moteur Cérébraux (IMC) athétosiques [38]. Cela s'applique également pour d'autres types de handicaps comme une déficience visuelle ou auditive. Une personne aveugle pourra être en mesure d'utiliser un clavier Azerty/Qwerty, mais ne pourra pas avoir de retour sur ce qu'elle aura saisi car incapable d'utiliser l'écran.

De la même manière des troubles mentaux peuvent poser problème. Une personne dyslexique aura plus de difficultés à se servir d'un système basé sur un dictionnaire, tout comme une personne illettrée. Par exemple, le système T9, présent sur des claviers de téléphones portables de 9 à 12 touches, permet d'utiliser des touches ambiguës (c'est-à-dire qu'une touche correspond à plusieurs caractères) qui seront par la suite désambiguïsées par un système basé sur un dictionnaire. Si l'utilisateur a des difficultés avec l'orthographe, il ne pourra pas choisir parmi les mots proposés celui qui convient. Pire encore si le mot qu'il a écrit est très éloigné de son orthographe réelle, le dictionnaire peut faire des propositions très différentes du mot réel.

Les périphériques

Les périphériques utilisés, que ce soit en entrée ou en sortie, sont également à prendre en compte. Cependant, les périphériques d'entrée sont plus susceptibles d'entraîner une dégradation de la situation. En effet, pour la tâche de saisie de texte, le retour visuel (bien que très important) n'est pas trop contraignant, le plus important est d'être en mesure de consulter au fur et à mesure le texte saisi. Dès qu'un écran est présent, le facteur dégradant sera exclusivement par rapport à la taille du texte affiché. Là où cela pose plus de problèmes, c'est quand il n'y a pas la moindre sortie visuelle.

Concernant les périphériques d'entrée, il s'agit d'un facteur de dégradation très important, car il peut avoir une influence sur toute la situation. Le fait par exemple de remplacer le clavier physique par un écran tactile de smartphone aura tout d'abord un impact important sur la technique d'interaction : on passe d'un grand ensemble de touches à un écran tactile très petit qui lorsqu'il affiche un clavier virtuel classique sera de taille très petite altérant la capacité de saisie. Une dégradation courante du périphérique se trouve également en terme de nombre de boutons / touches disponibles. Il existe des périphériques sur lequel on retrouve toujours un nombre de boutons relativement important (12 pour certains téléphones ou télécommandes), mais il en existe d'autres qui ne permettent que l'utilisation des quatre touches de direction, voire certains qui ne permettent que l'appui sur un seul bouton. On pourra également trouver des situations où seul un périphérique de pointage sera à disposition, comme une souris ou une télécommande infrarouge.

L'environnement

Un paramètre à prendre en compte est également l'environnement dans lequel sera effectuée la tâche de saisie de texte. Un environnement calme est, par exemple, bien plus favorable qu'un environnement bruyant, où l'utilisateur sera régulièrement dérangé. Les sources de distractions (téléphone, personnes extérieures, etc.) vont également avoir un impact sur la concentration de l'utilisateur, et dégrader ses performances. Il peut aussi être difficile de saisir du texte dans un environnement peu lumineux, et ce même si l'utilisateur est expert. Avec le développement des périphériques mobiles, les utilisateurs sont dans des environnements très variables et dégradés (transport en commun, lieux publics, en réunion, etc.).

L'importance de la tâche

Il convient de se poser la question de la tâche principale effectuée par l'utilisateur, car bien que celui-ci soit en train de saisir du texte, cela ne veut pas dire que ce soit sa tâche principale. Par exemple, une personne en train de marcher dans la rue en envoyant un message peut privilégier son déplacement et écrire moins vite ou l'inverse i.e. marcher moins vite et écrire plus vite [39]. L'importance de la tâche de saisie va également avoir un impact sur les performances de l'utilisateur. Dans tous les cas, même si la tâche de saisie est la tâche principale, une activité secondaire parallèle pourra perturber l'utilisateur et diminuer ses performances.

2.2.2. Identifier les utilisateurs

La démarche est différente de celle pour la recherche avec les enfants déficients visuels. L'idée n'était pas de partir des utilisateurs pour initier un besoin, mais de partir d'autres facteurs de dégradation comme l'environnement ou le périphérique. L'objectif de la recherche était de trouver une technique simple, accessible au grand public. Sachant que la dégradation peut provenir de l'utilisateur lui-même, il fallait définir leur profil tout en restant représentatif du grand public. Nous avons visé trois types de populations :

- Les jeunes (d'une dizaine d'année), qui représentent des utilisateurs qui risquent d'altérer la situation par leur manque de concentration ou leur manque de connaissances pour réaliser les tâches de saisie.
- Les jeunes adultes (d'une vingtaine d'année), qui représentent des utilisateurs débutants, mais qui sont capables de se concentrer.
- Les séniors (adultes de plus de 60 ans), qui représentent aussi des utilisateurs débutants, mais qui risquent d'altérer un peu plus la situation par leurs problèmes de santé dû au vieillissement et à leurs a priori sur les nouvelles technologies.

En conséquence, les utilisateurs choisis vont être une source de dégradation au moins en considérant leur niveau d'expertise dans la saisie de texte puisque nous visons des utilisateurs novices.

Pour recruter les utilisateurs, nous avons fait appel à nos connaissances, aux étudiants de l'Université de Lorraine ainsi qu'aux locataires de la résidence des retraités de Pro BTP de Metz-Sablon.

2.2.3. Disposer d'une équipe de recherche solide

J'ai appliqué une démarche similaire à la recherche pour les enfants déficients visuels sur trois niveaux : groupe, laboratoire et réseau.

Au niveau groupe, j'identifie un objectif plutôt exploratoire dans lequel j'essaie de voir si des idées mériteraient un approfondissement. Ce travail est réalisé au sein d'un petit groupe dans le cadre de stages niveau BAC+4 ou 5. Dans le domaine de l'entrée de texte, j'ai ainsi testé plusieurs pistes de recherche :

- Claviers gestuelles
 - Jérôme Bier, Clavier gestuelle avec la wiimote, 11/2008-05/2009, M1 informatique.
 - Damien De Gend et Remi Manzini, Clavier gestuelle avec la wiimote, 11/2009-05/2010, M1 informatique.
 - Alexandre Oberst et Guillaume Laas, Améliorations du clavier WeGliss, 11/2009-05/2010, M1 informatique.
 - Imade Bouglouf et Alexandre Oberst, Améliorations du clavier WeGliss, 10/2010-03/2011, M2 informatique.
- Clavier et haptique
 - Tine Norbert Kondo, Retour pseudo-haptique pour la saisie de texte, 11/2009-05/2010, M1 informatique.
 - Christophe Gilles et El Hassane Oumina, Clavier haptique Push&Pull, 10/2012-03/2013, M2 informatique.
- Aide à l'apprentissage de claviers à gestes symboliques
 - Halima Sidaty Gaye, Aide au tracé de type Unistroke, 03/2008-07/2008, M2 informatique.
- Techniques de visualisation

Chapitre 2 - Technique d'entrée de texte en situation dégradée

◦ Samir Gendoul et Karim Hameladji, Étude de la technique du carrousel, 11/2011-05/2012, M1 informatique. Au niveau laboratoire, j'ai pu collaborer avec un collègue, Benoît Martin pour étudier le domaine de l'entrée de texte. Dans cette thématique, j'ai aussi pu co-encadrer un étudiant en thèse, Nathan Godard. Il m'a permis d'approfondir un travail initié avec plusieurs groupes d'étudiants autour d'un clavier gestuel appelé WeGliss et qui avait ouvert des pistes intéressantes. Malheureusement, cet étudiant a abandonné pour raisons personnelles, alors qu'il était en phase de rédaction. Ce fut pour moi une très bonne expérience de travailler avec lui. Nous avons pu obtenir ensemble des résultats intéressants qui se sont concrétisés par une publication [IP19].

Au niveau réseau, j'ai pu collaborer avec un chercheur reconnu dans le domaine de l'entrée de texte, Poika Isokoski du TAUCHI de l'Université de Tampere. J'ai profité de sa venue dans mon laboratoire en tant que chercheur invité pour travailler avec lui pour finaliser les travaux réalisés avec mon étudiant sur le clavier WeGliss.

2.3. Approche scientifique

La finalité de la recherche sur l'entrée de texte est de définir une nouvelle technique d'interaction pour une tâche qui requiert une information textuelle dans une situation dégradée. Pour y parvenir, notre équipe a adopté une approche ascendante en complexifiant pas à pas la problématique (cf. Fig. 2. 1). La première étape a consisté à comprendre les solutions existantes sur l'entrée de texte. Avec mon collègue, Benoît Martin, nous avons réalisé un état de l'art sur les claviers physiques et logiciels. Il s'agissait d'aller au-delà d'un simple état de l'art en proposant une réelle taxonomie argumentée permettant de mieux comprendre les différentes techniques d'entrée de texte, de pouvoir les comparer et d'identifier les avantages et les inconvénients. Ce travail a été publié et a servi de référence dans la communauté IHM francophone [IP6].

Cette étude m'a permis de démarrer des travaux sur la conception d'un nouveau clavier gestuel, sur la base de claviers existants. J'ai pu identifier une situation dégradée par quelques facteurs (liés à l'utilisateur, au contexte et au périphérique) qui nécessitait la mise en place d'un nouveau clavier. Pour montrer la simplicité d'usage de cette nouvelle technique d'entrée de texte, j'ai fait intervenir d'autres facteurs de dégradation de la situation d'interaction en changeant le contexte, puis les utilisateurs.

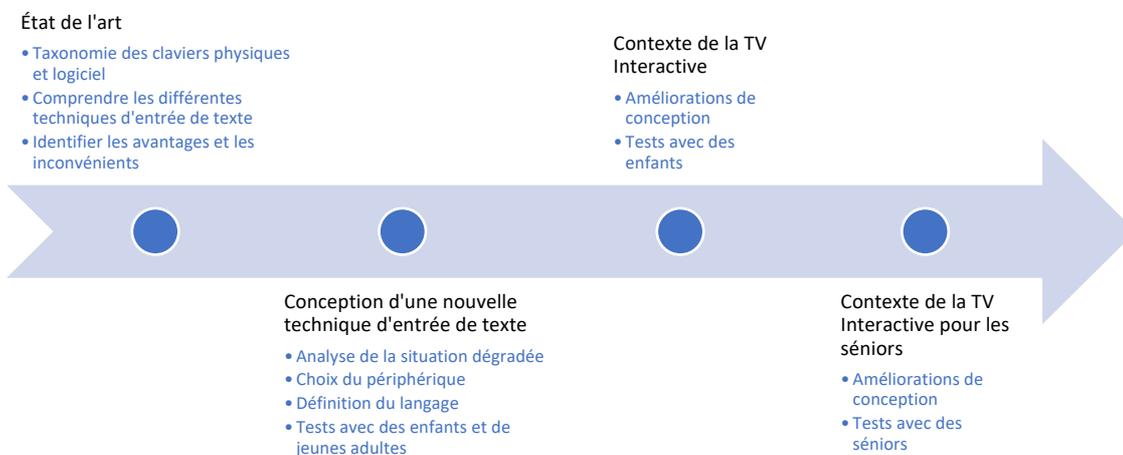


Fig. 2. 1. Méthodologie de travail.

2.4. Résultats

2.4.1. État de l'art des claviers logiciels

2.4.1.1. Taxonomie

De nos jours, le clavier est un élément encore souvent indispensable quand on doit interagir avec un système informatique. Les claviers Qwerty et Azerty de nos ordinateurs, très répandus, ne constituent cependant pas la panacée pour toutes les utilisations. En effet, à cause de la place qu'ils occupent, de la disposition de leurs touches ou bien pour des raisons de sécurité et/ou de maintenance, de nombreux systèmes informatiques ne sont plus équipés de claviers. Parmi ces systèmes, on trouve notamment les bornes interactives (pour éviter la maintenance) ainsi que les téléphones

portables et les assistants numériques ; même si des modèles récents possèdent un clavier complet ils restent minoritaires. L’essor de ces systèmes et de ces nouvelles technologies montre le besoin de disposer de méthodes alternatives de saisie de texte pour se substituer à un clavier standard.

Il existe déjà d’autres méthodes de saisie, dont se servent certaines catégories d’utilisateurs (les personnes handicapées, ou encore les utilisateurs d’assistants numériques, ...). Notre travail vise à proposer un état de l’art des claviers pour saisir du texte. Il s’agit d’une extension de l’étude proposée par [40] qui s’intéressait à la saisie de texte dans un contexte précis : les interfaces réduites. Le présent état de l’art couvre tout type de claviers qu’ils soient physiques, logiciels, dédiés ou non à un contexte d’utilisation.

Le but de notre étude est de répertorier les technologies et techniques d’interaction existantes pour saisir du texte. La taxonomie choisie (cf. Fig. 2. 2), regroupe les claviers en fonction de la technique d’interaction principale mise à disposition de l’utilisateur pour manipuler le clavier. Il est à noter que certains claviers combinent plusieurs de ces techniques. Ce classement nous permet de décrire une grande partie des claviers existants. Nous distinguons deux techniques d’interactions dominantes utilisées pour la saisie de texte : les interactions utilisant des touches et celles utilisant des gestes.

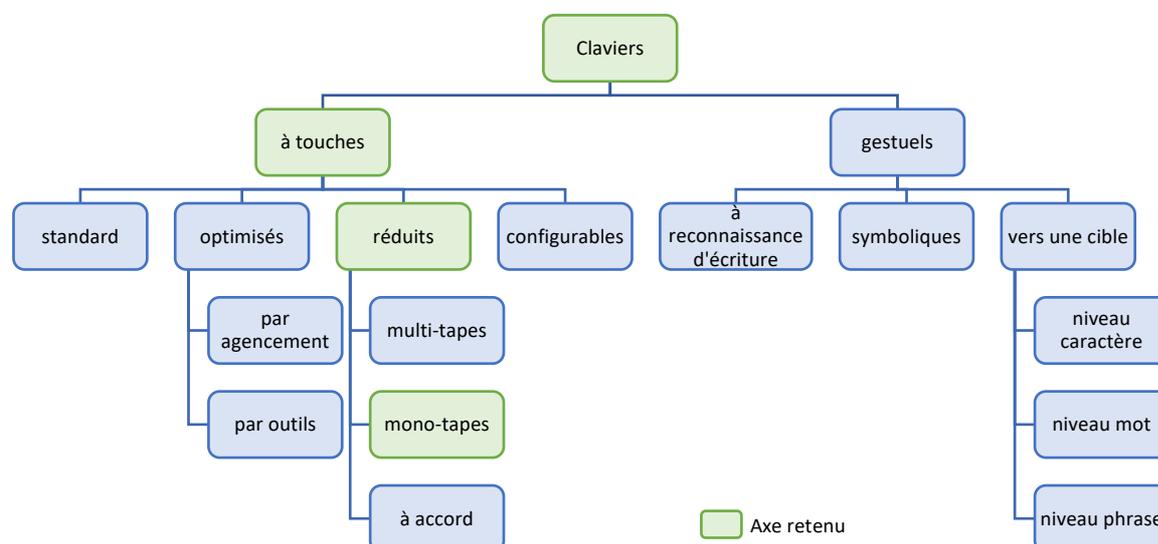


Fig. 2. 2. Classement des claviers en fonction de l’interaction dominante de saisie de texte.

Chaque catégorie a été analysée selon les critères suivants :

- La présentation, qui correspond à l’aspect du clavier pour l’utilisateur qu’elle soit physique ou virtuelle, dans l’état initial et en cours de saisie.
- Le type de saisie, qui permet d’identifier les techniques d’interactions pour saisir du texte. Même si c’est principalement ce critère qui définit notre classification, il peut s’agir aussi de techniques d’interaction non dominantes mais complémentaires. Ces dernières permettent souvent de particulariser certains claviers et améliorer leurs performances.
- La prédiction, qui n’est pas un critère de classement en soi, car tous les claviers étudiés peuvent être associés à un système de prédiction de texte, dans le but d’accélérer la vitesse de saisie. Par contre, certains claviers intègrent systématiquement de tels systèmes, ce qui peut modifier sensiblement les performances lors de la saisie par rapport à d’autres claviers qui n’en utilisent pas automatiquement. MacKenzie [41] définit le rôle de ces systèmes. Ils apportent l’avantage d’accélérer la saisie grâce à un dictionnaire ; mais en contrepartie ce dictionnaire, qui sert de base à la prédiction, doit être adapté en fonction du langage, voire du domaine d’application. L’utilisateur a la charge supplémentaire de le compléter à chaque fois qu’un mot n’y est pas. Le retour visuel doit être de bonne qualité, car

Chapitre 2 - Technique d'entrée de texte en situation dégradée

le texte prédit doit être vérifié par l'utilisateur pour chaque lettre tapée d'où une saisie inconfortable (contrôle visuel fréquent) ; or cela ne s'avère pas toujours possible en fonction de l'écran. Globalement, deux techniques sont utilisées actuellement : la prédiction de mots et la prédiction de lettres. La première consiste à suggérer le mot ou la fin du mot en se basant par exemple sur le dictionnaire et la fréquence d'apparition. La seconde consiste soit à proposer la lettre suivante, soit à mettre en évidence les lettres probables, en utilisant par exemple un calcul sur les n-gram. Ces techniques peuvent être plus évoluées.

- Le contexte d'utilisation, similaire à la notion de contexte d'interaction de Poirier et Schadle [40] : bureau, véhicule, en mouvement, etc. Ce critère permet de révéler des spécificités importantes : les limites des claviers pour des utilisateurs à besoins spécifiques, les choix techniques et technologiques ou encore par exemple des informations sur le public d'utilisateurs visés (personne handicapée, personne en situation de mobilité, ...).

Mesures de performance

Les performances des différents claviers ne figurent pas dans les critères de classification. Elles sont difficilement comparables, car elles proviennent d'expérimentation qui ne se basent pas forcément sur les mêmes protocoles [40]. En particulier, des différences notables apparaissent dans les résultats des tests lorsque le protocole prend en compte ou non la correction des erreurs de saisie par l'utilisateur. Dans la suite, elles sont données à titre indicatif. On distingue trois mesures de performance :

- Le nombre de mots par minute ou WPM en Anglais (Word Per Minute). Une telle unité de mesure pose une inconnue supplémentaire, qui est la taille du mot servant à la mesure. Ce problème est réglé par MacKenzie [42], qui exprime une convention communément admise pour les protocoles de tests. Celle-ci fixe la taille d'un mot à 5 caractères, incluant les espaces et autres tabulations, permettant ainsi une correspondance avec une mesure en caractères par seconde (CPS) : $vitesse\ WPM = \left(\frac{60}{5}\right) * vitesse\ CPS$. Plus le WPM est élevé, plus l'utilisateur peut entrer de caractères par minutes.
- Le nombre de caractères entrés pour un caractère à entrer ou KSPC en Anglais (Keystrokes Per Character). Cette mesure dénote l'effort de l'utilisateur pour copier une phrase. À cause des erreurs et des corrections, un utilisateur entre plus de caractères que prévu. Plus le KSPC est élevé plus l'effort requis est important pour une même tâche.
- La distance minimale entre la chaîne de caractères saisie et à saisir ou MSD en Anglais (Minimum String Distance). Cette mesure représente le taux d'erreur. Cette distance minimale représente le nombre d'additions, de substitutions et de suppressions de caractères à faire pour rendre les deux chaînes identiques. Plus la MSD est grande, plus il faudra de corrections pour obtenir la chaîne désirée.

Dans la suite, je ne vais résumer que la catégorie de clavier qui m'a servi de base pour concevoir une nouvelle technique d'entrée de texte : les claviers réduits. Pour une explication détaillée de cette catégorie ainsi que des autres, il suffit de se référer à l'article complet [IP6].

2.4.1.2. Les claviers réduits.

Définition 13 Un *clavier réduit* est un clavier physique ou logiciel qui possède moins de touches qu'un clavier standard pour diminuer l'espace occupé par le clavier.

Le cas d'usage de ces claviers peut être dû au périphérique de saisie lui-même ou à l'utilisateur. Dans le cas du périphérique, il ne dispose pas d'une surface suffisamment grande pour présenter un clavier de près de cent touches ainsi que l'utilisation de plusieurs doigts pour la frappe. Dans le cas de l'utilisateur, c'est l'accès à un trop grand nombre de touches qui pose problème comme pour une personne à handicap moteur.

On distingue trois types de claviers réduits en prenant comme critère l'interaction nécessaire sur les touches du clavier pour accéder à une lettre : les claviers multi-tapes, les claviers mono-tapes et les claviers à accords.

Les claviers multi-tapes

Définition 14 Un *clavier multi-tapes* est un clavier avec lequel on accède à un caractère par plusieurs appuis successifs sur au moins une touche.

Cette définition étend celle de Pavlovych et al. qui ne considère que des appuis sur une seule touche [43]. Un caractère est défini par une séquence ordonnée de touches. Ce type de clavier est ambigu, car une touche donnée permet d'accéder à plusieurs caractères : c'est une séquence ordonnée de touches qui permet de lever l'ambiguïté.

Le plus connu des claviers réduits multi-tapes est celui du téléphone mobile standard à douze touches (Fig. 2. 3). Les caractères accessibles par une touche sont affichés sur la touche. Bien que par nature la vitesse de saisie soit lente, il a été très utilisé : James et Reischel ont montré une vitesse de saisie de 7.98 WPM pour les novices équivalente à celle pour les experts (7.93 WPM) [44].

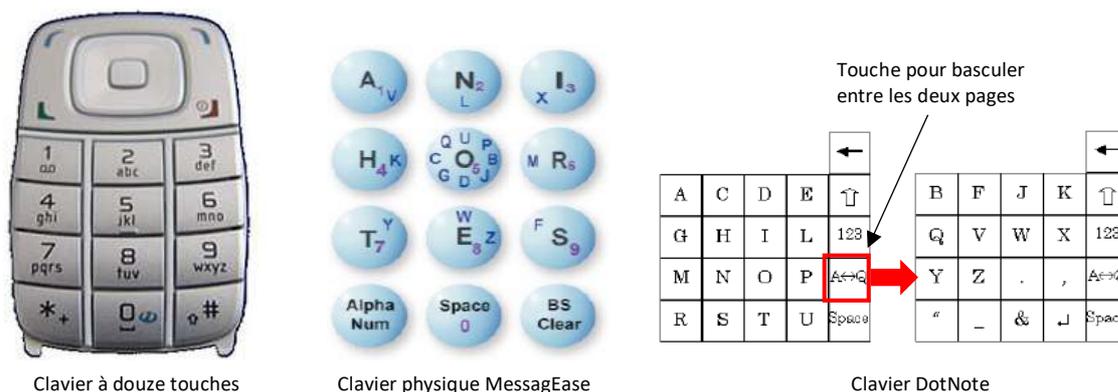


Fig. 2. 3 Exemple de claviers réduits multi-tapes.

Dans le but toujours d'accélérer la vitesse de saisie, des évolutions du clavier de téléphone mobile à douze touches ont vu le jour. Le système RollPad [45] propose de conserver l'agencement initial mais remplace les touches par une surface tactile. L'interaction est basée sur la sélection d'une touche puis d'un léger roulement ou glissement du doigt pour sélectionner le bon caractère. Par exemple, un appui sur la touche 3 génèrera le caractère E mais un appui sur la touche 3 suivi d'un roulement du doigt vers la gauche génèrera le caractère D. Cet appui suivi d'un roulement s'apparente à un clavier multi-tapes. Les tests menés ne montrent pas de différences significatives avec le clavier à douze touches standard hormis le nombre d'appuis par caractère.

Le clavier MessageEase [46] est basé sur un clavier à douze touches avec une répartition des lettres en fonction de leur fréquence d'utilisation. Le concept est simple : une lettre très fréquente doit être accessible rapidement. Les neuf lettres les plus fréquentes sont réparties au centre des touches (de n°1 à n°9) et sont accessibles par double-clic (cf. Fig. 2. 3). Huit lettres moins fréquentes sont réparties sur les mêmes touches sauf la touche centrale (n°5), mais disposées en périphérie et orientée vers la touche centrale. Elles sont accessibles par deux sélections de touches : la touche qui la contient puis la touche centrale. Par exemple, « M » est obtenu en choisissant les touches 6 puis 5. Les huit lettres restantes sont réparties sur la touche centrale (n°5) et sont disposées de sorte que chaque lettre puisse désigner une touche autour de la touche centrale. Ces touches sont aussi accessibles par deux sélections de touches : la touche centrale, puis la touche désignée par la lettre. Par exemple, « G » est obtenu en choisissant les touches 5 puis 7. En appliquant cette répartition sur les autres touches et en considérant le clavier circulaire, on peut étendre le clavier à d'autres caractères. Un calcul théorique montre que ce clavier atteint des performances légèrement supérieures au clavier multi-tapes de type téléphone à douze touches [46].

Concernant les claviers logiciels, on retrouve les versions logicielles des claviers physiques réduits multi-tapes [47]. Par exemple, Vella et Vigouroux proposent une version logicielle du clavier physique réduit type téléphone mobile avec et sans prédiction [48]. L'objectif était de le comparer en termes de performances avec un clavier logiciel standard et ce, sur une population valide et une population handicapée. Le fait marquant de cette étude est certainement que, sur la population testée, les clics successifs sur le clavier ambigu semblaient plus difficiles à réaliser que les mouvements du pointeur sur le clavier standard.

Le clavier DotNote [49] est un clavier logiciel basé sur de larges touches afin d'offrir une frappe à une main sur un assistant personnel. Les lettres sont réparties sur deux pages séparées, l'une seulement étant accessible à un instant

Chapitre 2 - Technique d'entrée de texte en situation dégradée

donné. DotNote est optimisé dans la mesure où les lettres les plus fréquentes apparaissent sur la page principale et une touche permet de changer de page. Ce clavier est multi-tapes car pour accéder à certaines lettres, il faudra appuyer sur deux touches (celle pour changer de page, puis celle contenant la lettre désirée). Aucune étude pratique n'a été publiée sur ce clavier.

Les claviers mono-tapes

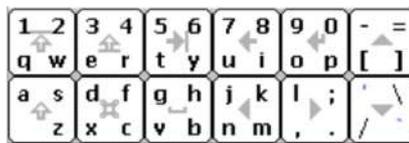
Définition 15 Un *clavier mono-tape* est un clavier réduit qui permet d'accéder à un caractère en sélectionnant une seule touche et en utilisant un système de désambiguïsation physique ou logiciel implicite ou explicite.

Le type mono-tape ne signifie pas que l'utilisateur accèdera à un caractère par l'appui sur une touche ; le système de désambiguïsation peut amener des interactions sur des touches spécifiques. Ainsi, le nombre moyen de touches par caractères, KSPC ne vaut pas forcément 1. On peut noter globalement des inconvénients communs aux claviers mono-tapes utilisant un système de prédiction. Le système doit être adapté aux utilisateurs et au contexte d'utilisation (par exemple, SMS) pour obtenir de bons résultats. De plus, en cas d'erreur d'interprétation, la technique d'interaction pour corriger n'est pas toujours intuitive.

Sur la majorité des téléphones mobiles à douze touches, on trouvera le système T9 de Tegic Communications, qui réalise une prédiction de mots, ce qui réduit le nombre d'appuis successifs nécessaires pour appuyer sur une touche. On peut atteindre 9,09 WPM pour un novice et 20,36 WPM pour un expert [44]. Il existe d'autres claviers basés sur le même principe [50] : une touche donne toujours accès à plusieurs caractères et la prédiction lève l'ambiguïté, mais le regroupement et le nombre de lettres par touches ainsi que l'algorithme de prédiction (LetterWise [51], etc.), peuvent changer. Il est possible de lever l'ambiguïté d'un clavier à douze touches par simple inclinaison du téléphone. C'est le cas du système TiltText [52] : en avant pour le 1^{er} caractère, à gauche pour le 2^{ème}, à droite pour le 3^{ème}, en arrière pour le 4^{ème} et sans mouvement pour le chiffre.



MessageEase version logicielle



Claviature

Fig. 2. 4. Exemple de claviers logiciels mono-tapes.

Pour les périphériques munis d'un écran tactile, une interaction de type glissement peut lever l'ambiguïté. C'est le cas des claviers MessageEase en version logicielle [46] et Claviature [53]. Ils possèdent une disposition différente des lettres (cf. Fig. 2. 4) :

- MessageEase place les lettres les plus fréquentes au centre des touches pour un accès rapide en une sélection alors que Claviature place des commandes au centre (Ctrl, Shift, etc.). Il existe d'autres versions de Claviature dans lesquelles les lettres sont regroupées par touches en fonction de la fréquence des paires de lettres dans la langue utilisée.
- Les autres lettres sont uniquement dans les quatre coins pour Claviature, alors qu'elles peuvent être aussi sur les côtés pour MessageEase.

Par contre, l'interaction pour choisir les lettres est similaire : après sélection de la touche contenant la lettre désirée, il faut faire un glissement vers la touche voisine de la lettre pour MessageEase alors que pour Claviature il suffit de viser la lettre. Ce type de claviers a l'avantage de pouvoir proposer de larges touches permettant une saisie au doigt. En situation de mobilité cette technique pourrait faciliter les interactions de l'utilisateur.

Il existe des claviers physiques qui sont mono-tapes sans nécessiter de désambiguïsation. Ils ont tout simplement été réduits physiquement pour prendre moins de place qu'un clavier standard [54][55]. Il y a donc une lettre par touche, mais chaque touche a été miniaturisée (cf. Fig. 2. 5).



Fastap

RIM Blackberry

Nokia 6820

Fig. 2. 5. Exemple de claviers physiques miniatures.

Les claviers à accords

Définition 16 Un *clavier à accords* est un clavier dans lequel un caractère est obtenu par une combinaison de touches appuyées « simultanément ».

Le nombre de touches varie d'un clavier à l'autre (cf. Fig. 2. 6). Par exemple, le clavier CyKey [56] est un clavier à 9 touches, GKOS [57] utilise seulement 6 touches et Twiddler [58] en possède 12. L'originalité du clavier Twiddler, c'est qu'il propose deux versions : multi-tapes et à accords. La version multi-tapes possède un KSPC de 2.0432 avec une vitesse de 8,2 WPM pour les novices contre 19,8 pour les experts, alors que le KSPC de la version à accords n'est que de 1.4764 avec une vitesse de 4.3 WPM pour les novices contre 26,2 WPM pour les experts [58].



Cykey

GKOS

Twiddler version accords

Fig. 2. 6 Exemple de claviers à accords.

2.4.2. Le clavier WeSlide

Les résultats présentés dans cette partie correspondent à des travaux initiés dans le cadre de projets de recherche avec des étudiants de Master, puis qui se sont poursuivis avec la thèse de Nathan Godard que j'ai co-encadrée et la collaboration avec Poika Isokoski, chercheur au TAUCHI de l'université de Tampere et spécialiste de l'entrée de texte. Je vais présenter une synthèse des publications réalisées sur le sujet [IP19][IP36][IP48].

2.4.2.1. Choix du type de clavier

Cas d'usage et motivations

Bien que peu utilisée, la saisie de texte sur les consoles de jeu comme la console Wii existe. Les claviers ne sont pas adaptés à des utilisateurs novices. Or le développement des activités sur cette console nous laissait envisager une plus grande utilisation de la saisie de texte (forum, accès internet, achat en ligne, jeux de lettres, etc.). La console de jeu Wii de Nintendo propose aux utilisateurs d'interagir avec un contrôleur de jeu : la Wiimote (cf. Fig. 2. 7). Ce contrôleur

Chapitre 2 - Technique d'entrée de texte en situation dégradée

permet d'effectuer en entrée des interactions gestuelles, de pointer l'écran, et de tenir compte des accélérations. En sortie, il peut fournir un retour sonore via un haut-parleur et un retour haptique à travers différentes vibrations.

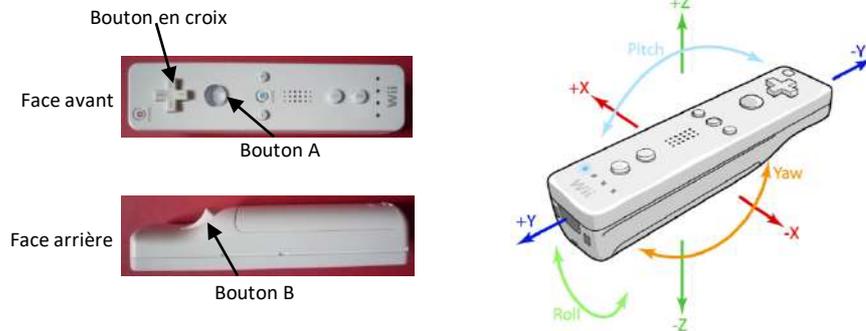


Fig. 2. 7. Le contrôleur de jeu de la console Wii : la Wiimote.

Ce périphérique original a su atteindre des publics variés : des plus jeunes aux plus âgés. Il est utilisé pour l'action même du jeu, mais aussi pour toutes les configurations nécessaires. La posture de l'utilisateur peut varier (debout, assis, en mouvement). Ainsi, l'utilisation d'un clavier physique n'est pas préconisée [59]. Chaque logiciel propose son propre clavier virtuel. Il en existe deux types (cf. Fig. 2. 8) :

- Les claviers standards qui ont une lettre par touche. Le nombre de lettres et la disposition (qwerty, azerty, alphabétique complet, majuscule uniquement, etc.) varient selon le logiciel et ses fonctionnalités.
- Les claviers réduits mono-tapes. Sur la figure ci-dessous, le clavier réduit correspond au système T9 disponible sur téléphones portables.



Fig. 2. 8. Exemple de claviers sur la console de jeu Wii.

Nous pensons que ces claviers ne sont pas satisfaisants par rapport aux utilisateurs et à la manipulation avec la Wiimote. Pour les claviers standards, l'accès aux touches est difficile. La saisie demande une précision du pointeur et une stabilité de la main [60] qu'un enfant ou une personne âgée ne contrôle pas facilement. La taille des touches reste petite, ce qui ne favorise pas le pointage. Les claviers réduits mono-tapes facilitent le pointage car les touches sont plus grandes. Par contre, les lettres sur les touches sont encore petites et l'usage d'un système de désambiguïsation n'est pas intuitif pour un utilisateur novice (enfant ou personne âgée). De plus, la console de jeu Wii offre des commandes utilisant du texte qui ne provient pas d'un dictionnaire classique (commande en lignes, accès internet, forum, etc.). Il semble difficile d'obtenir un clavier mono-tape standard si le système de désambiguïsation ne peut se baser sur un dictionnaire classique.

Contraintes de conception

Dans cette recherche nous proposons une nouvelle technique d'interaction composée du couple $\langle d, l \rangle$, où d est la Wiimote le contrôleur de jeu de la console Wii de Nintendo, et l un langage basé sur la manipulation directe. Cette technique permet de saisir du texte. À partir du contexte d'usage défini précédemment, nous avons défini plusieurs contraintes de conception pour définir un clavier adapté :

- Utiliser un pointeur approximatif pour choisir les lettres. La Wiimote doit s'utiliser facilement sans fatigue et sans nécessiter une précision dans la visée. Le contrôle du pointeur est à distance de l'écran, ce qui rend la tâche difficile.
- Voir les lettres facilement sans nécessiter une attention soutenue sur l'écran.
- Être accessible à des novices (jeunes ou âgés).

- Limiter l'apprentissage en définissant des techniques d'interaction simples à comprendre et à utiliser. Nous éliminons les claviers avec système de désambiguïsation.
- Garder l'attention de l'utilisateur portée sur l'écran et non sur la Wiimote.

Type de clavier choisi

La Wiimote permet d'utiliser un langage gestuel. L'idée d'un clavier gestuel avec reconnaissance de caractères est pourtant écartée. Soit ce langage demanderait une phase d'apprentissage du geste, ce qui est en contradiction avec le contexte de détente et de loisir dans lequel l'utilisateur doit se trouver. Soit il demande une précision du geste incompatible avec l'utilisation même de la Wiimote : le geste reste imprécis, car il ne repose pas sur une surface comme avec un stylet et une attention trop soutenue est inévitable. Ainsi, le concept de touches réduites paraît plus adapté à nos critères.

Parmi les claviers réduits, les claviers multi-tapes demandent un apprentissage pour l'accès à la lettre. De plus, l'accès à des touches différentes pour accéder à une même lettre n'est pas simple pour un novice. Les claviers mono-tapes sont ceux qui répondent le mieux à nos critères. L'utilisateur désigne la touche qu'il veut atteindre et ensuite effectue une autre interaction pour lever l'ambiguïté. Nous avons choisi de nous orienter vers un clavier réduit mono-tape avec une méthode de désambiguïsation avec un geste simple : par glissement ou par rotation.

Clavier par glissement : le clavier WeGliss

Les claviers virtuels MessagEase et Claviature (cf. Fig. 2. 4) proposent d'effectuer un glissement vers une touche ou une direction. Cette technique du glisser est envisageable avec la Wiimote sous réserve de la précision du geste. Pour MessagEase, il faut savoir quelle touche voisine viser et pour Claviature il faut réussir à viser la lettre située dans l'un des coins de la touche. La précision du geste est importante pour interpréter le bon vecteur directeur. Nous avons choisi de concevoir un clavier basé sur ces deux claviers MessagEase et Claviature. Ils répondent le mieux à nos critères. Toutefois, la technique du glisser utilisée dans ces deux claviers se base sur la direction : pour MessagEase vers une touche voisine et pour Claviature vers un coin. La précision du geste ici est importante pour interpréter le bon vecteur directeur. Avec un doigt ou un stylet posé sur l'écran, l'utilisateur peut avoir conscience de la direction. Avec la Wiimote, comme la main de l'utilisateur est libre, son geste est moins précis et nous pensons que l'utilisateur novice aura plus de difficultés à maîtriser son geste.

Notre clavier conserve le principe du glisser. Par contre, la définition de la lettre est plus simple : il suffit de sortir par le côté où se trouve la lettre. Cette définition nous permet d'être indépendant de la position des touches voisines et de la forme des touches. Nous pensons que l'utilisateur aura plus conscience de la lettre saisie et aura plus de facilités à savoir quel geste effectuer : au lieu de penser à une direction, il suffit de sortir par un côté. De plus, avec la Wiimote, il est possible d'augmenter cette prise de conscience en émettant une vibration au moment de la sortie et de la validation d'une lettre.

Définition 17 Le *clavier WeGliss* est défini de façon générique par sa forme polygonale, le nombre de lettres par touches (au maximum une lettre par côté), leur répartition, son design (couleur, taille, etc.) et l'emplacement des touches.

Le clavier Claviature deviendrait un clavier WeGliss avec des touches en forme de losanges et le clavier MessagEase avec des touches octogonales. Notre clavier est un clavier réduit, ce qui permet d'avoir de grandes touches. Dans une première version (cf. Fig. 2. 9), nous avons choisi des touches simples de forme carrée. Sur chaque touche les lettres sont réparties sur chaque côté, soit quatre lettres par touche. Les lettres sur chaque touche peuvent être de grande taille, ce qui est important pour l'utilisateur qui doit interagir à distance (en moyenne deux mètres de l'écran). Les lettres sont réparties simplement par ordre alphabétique car un utilisateur novice est plus familier avec cet ordre. Pour valider une lettre, il faut viser puis sélectionner la touche contenant la lettre désirée en appuyant sur le bouton A, puis sortir de la touche par le côté où se trouve la lettre en maintenant le bouton A enfoncé et enfin relâcher le bouton A pour valider la lettre. La figure ci-dessous montre comment écrire la lettre « Y ». Le bouton B est utilisé pour effacer une lettre. Nous avons voulu conserver les rôles usuels des boutons A et B sur les jeux Wii : A pour valider et B pour revenir en arrière.

Chapitre 2 - Technique d'entrée de texte en situation dégradée



Fig. 2. 9. Première version du clavier WeGliss : exemple pour écrire « Y ».

Le clavier WeGliss ne possède pas de lettre au centre, ce qui peut être un inconvénient par rapport à MessagEase où les lettres les plus fréquentes sont accessibles en une seule sélection. Plusieurs raisons ont motivé ce choix :

- Simplifier la technique d'interaction pour l'utilisateur novice. Toutes les lettres sont accessibles de la même manière.
- Avoir des lettres de grande taille et favoriser la lisibilité des touches.
- Permettre l'annulation d'une touche sélectionnée en relâchant le bouton A sans sortir de la touche.

Clavier par rotations

Nous avons vu que le clavier TiltText lève l'ambiguïté sur la lettre sélectionnée sur une touche par simple inclinaison du téléphone [52]. Nous proposons d'étendre ce concept en utilisant les possibilités de rotation offertes par la Wiimote. Le pointeur de la Wiimote est utilisé pour sélectionner la touche voulue comme pour le clavier WeGliss. Pour choisir la bonne lettre sur la touche, on utilise la rotation selon l'axe Y (cf. rotation *Roll*, Fig. 2. 7) qui, en fonction de l'angle d'inclinaison, permet de passer d'une lettre à une autre. Ce clavier est totalement innovant par rapport à l'état de l'art, car on utilise la visée et la rotation.

Après quelques pré-tests, nous avons défini un seuil de confort pour la rotation pour un droitier entre -90° (cas où la face avant de la Wiimote est orientée vers la gauche) et $+45^\circ$ (face avant vers la droite) en considérant comme position neutre (angle 0°) la Wiimote tenue dans la main, à l'horizontal, face avant vers le haut (cf. Fig. 2. 7). À partir de cet intervalle de rotation, nous avons pu répartir les lettres par portion d'angles sur la touche.

Pour choisir une lettre, il faut viser la touche la contenant, maintenir le bouton A enfoncé pour valider cette case, puis pour désambigüiser, il faut faire la rotation pour choisir la bonne lettre. Lorsqu'on lâche le bouton A, on retrouve le mode déplacement et la lettre est validée. Les lettres sont disposées dans le sens antihoraire afin d'entrer sur la case par sa première lettre. De plus, pour garder une certaine cohérence avec le clavier WeGliss et permettre une comparaison plus aisée les lettres sont aussi placées par ordre alphabétique. Un cadran est matérialisé pour montrer la lettre sélectionnée en fonction de la rotation de la Wiimote (cf. Fig. 2. 10).

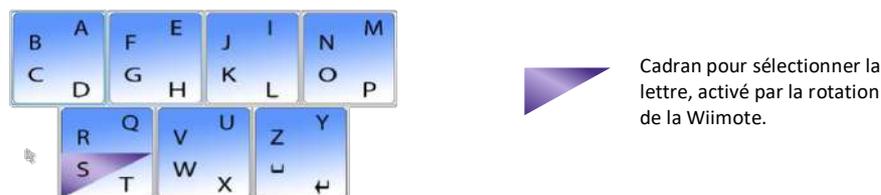


Fig. 2. 10. Clavier par rotations : bouton A enfoncé, rotation de la Wiimote activée.

Expérimentation

Une première expérimentation a été réalisée pour évaluer le potentiel des deux claviers par rapport à un clavier virtuel standard (cf. Fig. 2. 11). Ainsi, trois hypothèses sont formulées :

- Les utilisateurs novices préféreront utiliser le clavier WeGliss.
- Il est plus rapide d'écrire avec le clavier WeGliss qu'avec les deux autres claviers virtuels.
- Le clavier WeGliss réduit les erreurs de frappe.
- Le clavier par rotation est trop contraignant à utiliser.



Fig. 2. 11. Clavier standard utilisé pour le test.

Deux groupes d'utilisateurs se sont succédés :

- Neuf utilisateurs âgés de 20 à 22 ans (dont deux femmes). Tous ont déjà utilisé une Wiimote. Six ont déjà utilisé un clavier virtuel.
- Trois garçons âgés de 8 à 10 ans. Ils ont tous déjà utilisé une Wiimote, mais peu ou pas de claviers virtuels.

Trois claviers ont été testés : un clavier standard, le clavier WeGliss et un clavier rotation. Chaque utilisateur a effectué cinq sessions de 15 minutes, 5 minutes par clavier. Le test consiste à saisir des phrases choisies aléatoirement parmi une centaine de phrases. Les claviers ne sont pas testés dans le même ordre pour chaque utilisateur et pour chaque session. Avant de commencer le test, les utilisateurs remplissent un questionnaire et lisent une notice expliquant le fonctionnement du test et des claviers. À l'issue de la dernière session, ils remplissent un questionnaire d'évaluation. La consigne donnée est d'écrire le maximum de texte avec un minimum de corrections. Ainsi, il est préférable de ne pas corriger une faute éloignée de la position courante. Tous les utilisateurs ont le même posture : debout, en moyenne à deux mètres de l'écran, avec la Wiimote dans la main droite sans aide de la main gauche. Les tests ont été réalisés sur deux PC portables en utilisant une résolution équivalente.

Résultats

Les tests ont montré que pour les deux groupes d'utilisateurs, le clavier par rotation est le moins apprécié, le plus lent et celui qui a la plus faible progression au fil des sessions. La dernière hypothèse est vérifiée : Le clavier par rotation est trop contraignant à utiliser. Je ne vais pas détailler plus ses résultats, puisque par la suite il n'a pas été retenu en vue d'améliorations.

Globalement les utilisateurs font très peu d'erreurs pour les deux claviers car la valeur de MSD varie entre 0 et 0,023. Ainsi, les modifications apportées permettent aux utilisateurs de corriger leurs erreurs. Les deux groupes bien que différents par leur catégorie d'âge préfèrent le clavier WeGliss. Notre première hypothèse est donc confirmée : les utilisateurs novices préféreront utiliser le clavier WeGliss. De plus, on observe les mêmes tendances : un apprentissage pour les deux types de claviers et très peu de différences de vitesse :

- Pour le clavier standard, le groupe d'adultes passe d'environ 9 WPM à 14 WPM et le groupe d'enfants d'environ 4 WPM à 6 WPM.
- Pour le clavier WeGliss, le groupe d'adultes passe d'environ 8 WPM à 13 WPM et le groupe d'enfants d'environ 4 WPM à 7 WPM.

Une analyse par utilisateur montre une différence significative pour trois utilisateurs qui préfèrent le clavier standard. Ces trois utilisateurs ont rencontré des problèmes techniques lors des premières sessions avec le clavier WeGliss, ce qui les a démotivés pour s'améliorer. Le pointeur de la Wiimote était instable en raison d'un trop fort éclairage dû à l'apparition soudaine et temporaire du soleil. Si on retire ces trois utilisateurs, on constate que les corrections sont légèrement moins importantes avec le clavier WeGliss et ont tendance à diminuer. De plus, la vitesse de saisie avec le clavier WeGliss dépasse celle du clavier standard en dernière session tout comme pour le groupe des enfants. Notre deuxième hypothèse n'est pas prouvée de manière significative, mais on peut donc espérer que sur une plus longue session d'apprentissage le clavier WeGliss dépasse de manière significative le clavier standard. De plus, les enfants se corrigent plus avec le clavier standard à vitesse de saisie équivalente. La différence est significative contrairement aux adultes, ce qui prouve notre troisième hypothèse pour au moins une partie des utilisateurs (des novices enfants) : le clavier WeGliss réduit les erreurs de frappe.

Ces premiers résultats sont exploratoires étant donné le faible échantillon d'utilisateurs, surtout pour le groupe des enfants. Par contre, ils nous ont poussés à poursuivre notre travail sur le clavier WeGliss.

Chapitre 2 - Technique d'entrée de texte en situation dégradée

2.4.2.2. Extension de WeGliss : le clavier WeSlide

Contexte d'usage et motivations

Afin de mieux expérimenter le clavier WeGliss, nous avons voulu définir un contexte d'usage plus précis dans lequel il serait plus facile de comparer notre technique avec une technique classique. Dans le cas d'usage précédent, il n'y avait pas de réel standard pour la saisie de texte, si bien que pour nos tests nous avons défini arbitrairement un clavier simple. Nous avons choisi le contexte de la télévision interactive ou TVi pour les personnes âgées.

La TVi peut se définir comme une expérience utilisateur qui comprend au moins un utilisateur et un ou plusieurs périphériques audiovisuels reliés à un réseau [61]. Cette définition permet de montrer que l'utilisateur y a sa place : ses émotions comptent ; il doit prendre plaisir à interagir. Bien que la TVi ne désigne plus forcément le téléviseur, mais également des écrans de type téléphones portables, notre étude se limite à l'usage d'un téléviseur. La TVi est utilisée pour le divertissement [61]. L'interface doit rester facile et éviter la métaphore du bureau propre aux ordinateurs [62]. Les périphériques utilisés pour interagir doivent eux-aussi être accessibles : Ingmarsson et al. [59] préconisent l'utilisation d'un périphérique de petite taille et utilisable à une main pour accroître l'utilisabilité. L'utilisateur doit interagir facilement quelle que soit sa position (assis, couché, etc.).

Les personnes âgées veulent vivre le plus longtemps possible à la maison, mais elles ont besoin d'aide pour y parvenir [63]. La TVi est un moyen pour leur fournir toute une gamme de services pour les aider : vidéos à la demande, vote, réseaux sociaux, services bancaires, etc. [64]. Dans le contexte de l'entrée de texte, les techniques ne sont pas simples à utiliser. Les techniques classiques avec la TVi sont les claviers virtuels [65] et la technique multi-tapes [66] (cf. Fig. 2. 12). La télécommande de la télévision est utilisée comme périphérique d'entrée pour ces deux techniques. Ses boutons directionnels permettent de sélectionner une touche du clavier virtuel et un autre bouton est utilisé pour activer la touche. C'est une modalité très simple pour saisir du texte, mais aussi très lente surtout si la distance entre deux lettres est grande, car il faut parcourir beaucoup de touches intermédiaires. Le clavier multi-tapes réduit ce problème puisque plusieurs lettres sont accessibles sur une touche par appuis successifs (cf. Fig. 2. 3). Il peut être contraignant, car il nécessite un certain délai pour valider le caractère sélectionné et donc un temps d'attente pour sélectionner un nouveau caractère qui se trouve sur la même touche. Sur les touches sont affichées 3 ou 4 lettres. Pourtant, souvent plus de caractères sont accessibles, le nombre dépend de la langue. Par exemple, en Français la touche « 2abc » donne l'accès aux caractères « a b c 2 à à ç ». Les utilisateurs de téléphones portables ont l'habitude de cette technique et certains l'apprécient [67]. Par contre, les personnes âgées sont moins à l'aise avec les SMS sur téléphones portables. Cela veut dire qu'il leur faut un apprentissage pour réussir à utiliser le clavier multi-tapes. La mémoire de travail a tendance à décliner avec l'âge, ce qui laisse penser que les personnes âgées éprouveront des difficultés à se souvenir de l'ensemble des caractères associés à une touche, l'état présent du système, voire le nombre de fois qu'ils ont déjà appuyé sur la touche.



Fig. 2. 12. Télécommandes de TV : trois modes pour la saisie de texte.

Marshall et al. [67] affirment que la meilleure solution pour l’entrée de texte dans le domaine de la TVi est d’utiliser un clavier physique (cf. Fig. 2. 12). Pourtant Lee et al. [62] préconisent de ne pas utiliser la métaphore du bureau dans ce domaine. L’utilisateur peut interagir dans différentes postures (assis, debout, allongé dans son canapé), ce qui rend parfois difficile l’usage d’un clavier physique. En conséquence, des petits claviers intégrés à la télécommande de la TV ont été proposés [68]. Cette solution induit un problème lourd de conséquences : l’utilisateur a besoin de regarder à la fois la télécommande et son écran de TV. Son attention est divisée, il risque de perdre le contexte d’interaction, ce qui a un impact sur la qualité de l’interaction [59][69]. Pour des personnes âgées avec des capacités cognitives diminuées, c’est particulièrement difficile [70]. De plus, Epelde et al. ont montré que la télécommande de la TV n’est pas adaptée aux personnes âgées : les boutons et le texte dessus sont trop petits et il y a trop de boutons [71]. Enfin, l’éclairage ambiant trop sombre dans un contexte de TVi rend difficile la consultation des libellés des touches sur la télécommande [72].

Contraintes de conception

À partir du contexte d’usage vu précédemment, nous avons défini plusieurs contraintes de conception pour nous assurer de l’adaptation du clavier WeGliss :

- Ne pas demander des gestes précis pour les personnes âgées qui ont parfois des capacités motrices limitées.
- Proposer des interactions simples et ne pas multiplier les techniques, car l’utilisateur est dans un contexte de divertissement et il peut avoir des capacités cognitives diminuées à cause de son âge.
- Ne pas utiliser trop de touches sur le périphérique, car elles sont souvent peu accessibles aux personnes âgées.
- Utiliser un périphérique de petite taille, utilisable dans différentes positions (assis, allongé, debout) et sous différentes ambiances lumineuses.
- Garder l’attention de l’utilisateur portée sur la TV.

Amélioration du clavier WeGliss : le clavier WeSlide

Nous avons choisi de renommer le clavier WeGliss en WeSlide, car il correspondait mieux à la technique mise en place et correspond à une version améliorée, plus complète de la première version.

Le clavier WeSlide répond aux contraintes de conception : il ne demande pas de gestes précis, l’interaction demandée est simple à comprendre et ne demande pas d’utiliser beaucoup de touches ; il utilise un périphérique de petite taille et permet de garder l’attention sur l’écran. Le vrai verrou réside dans l’acceptation de ce périphérique par des personnes âgées. Plusieurs recherches ont prouvé que les personnes âgées arrivent à utiliser facilement la Wiimote [63][73]. Elles comprennent facilement la notion de pointage, mais certains boutons leur paraissent trop petits et le bouton B derrière la télécommande est parfois activé involontairement [73]. Par contre, leur capacité physique dégradée peut limiter leur précision de pointage [64][73].

Après quelques pré-tests avec des enfants et des adultes (moins de 47 ans), nous avons étendu le clavier WeSlide pour qu’il puisse proposer tous les caractères et disposer ainsi d’un clavier complet, utilisable dans le contexte de la TVi (cf. Fig. 2. 13). Nous avons introduit une huitième touche pour pouvoir introduire la ponctuation de base et rendre le clavier plus uniforme (même nombre de touches par ligne). Nous avons conservé une répartition des lettres selon l’ordre alphabétique plutôt que d’utiliser un clavier AZERTY ou QWERTY contrairement aux recommandations de Norman et al. [74]. Ce choix peut se justifier par la conception elle-même : il y a quatre lettres sur la première ligne, huit sur la seconde, quatre sur la troisième, etc. Il est impossible de faire correspondre une disposition AZERTY ou QWERTY en suivant cette règle de placement. De plus, comme nous voulons un clavier complet, en utilisant une disposition AZERTY ou QWERTY, il faudrait rendre accessible certains caractères avec des combinaisons de caractères, ce qui va à l’encontre d’une des contraintes de conception : proposer des interactions simples et ne pas multiplier les techniques. Nous avons préféré proposer plusieurs ensembles de caractères alternatifs dans différents claviers rangés dans un système de navigation simple de type carrousel (cf. Fig. 2. 13). Nous pensons qu’introduire une interaction explicite avec un retour visuel pour changer d’ensemble de caractères sera moins perturbant qu’introduire une technique d’interaction spécifique pour sélectionner des caractères spéciaux sur le clavier. De plus, ajouter des lettres supplémentaires sur les touches du clavier diminuerait inévitablement la taille des caractères affichés, ce qui n’est pas acceptable, car l’écran est à deux ou trois mètres de l’utilisateur dans le contexte de la TVi.

Une molette virtuelle est affichée sous le clavier pour naviguer dans le carrousel et changer de disposition de caractères. L’utilisateur doit viser la molette, garder enfoncé le bouton A de la Wiimote et déplacer la Wiimote de gauche à droite. Lorsque le bouton A est relâché, le clavier affiché au premier plan est sélectionné. WeSlide propose

Chapitre 2 - Technique d'entrée de texte en situation dégradée

cinq claviers : les lettres minuscules, les lettres majuscules, les nombres, les lettres accentuées et les symboles de ponctuation. À chaque clavier est associé une couleur de fond différente pour aider l'utilisateur à les différencier. En version miniature dans le carrousel, les claviers sont aussi repérés par un caractère représentatif de la disposition. Sur chaque disposition, on retrouve placés au même endroit, les quatre caractères utiles : « . », « , », espace et entrée. En fonction de la place restante sur chaque disposition, d'autres caractères utiles ont aussi été ajoutés : les opérateurs pour les chiffres, l'apostrophe, etc.

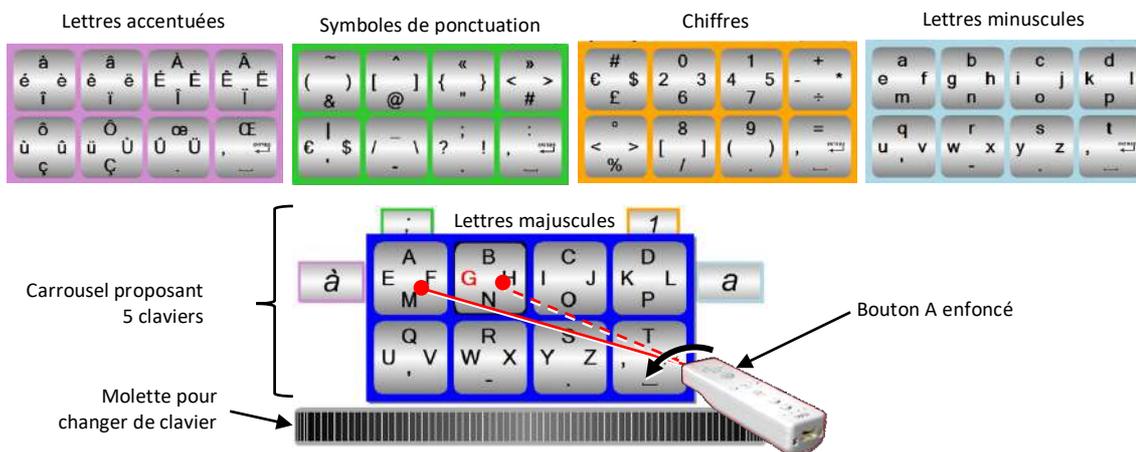


Fig. 2. 13. Clavier WeSlide : sélection de la lettre « G ».

Un retour visuel a été ajouté pour montrer l'état de sélection d'une lettre :

- Quand l'utilisateur sélectionne une touche, le contour de la touche est souligné en noir.
- Quand le pointeur quitte la touche tout en maintenant le bouton A enfoncé, le caractère qui sera sélectionné dès que le bouton A sera relâché devient rouge (cf. lettre « G » sur Fig. 2. 13).

Expérimentation

Une expérimentation a été réalisée dans le contexte de la TVi avec des personnes âgées pour :

- Recueillir les commentaires subjectifs du clavier WeSlide par rapport à la saisie de texte normale en mode multi-tapes avec la télécommande du téléviseur (cf. Fig. 2. 12).
- Évaluer les performances du clavier WeSlide dans ce contexte.

Nous avons utilisé la technique multi-tapes puisqu'elle est souvent mentionnée dans la littérature comme technique d'entrée de texte pour la TVi. L'expérimentation de Iatrino et Modeo [75] compare la technique multi-tapes avec ou sans retour visuel avec un clavier virtuel contrôlé par les flèches de direction d'un clavier physique. Trente-six sujets ont participé : dix-huit personnes âgées entre 43 et 80 ans étaient inexpérimentées dans la technique multi-tapes et dix-huit personnes âgées entre 18 et 50 ans avaient de l'expérience dans les SMS. Dans cette étude, la meilleure interface a été la technique multi-tape non visuelle. De plus, nous n'avons pas choisi de comparer notre technique avec une télécommande intégrant un mini clavier physique parce que :

- L'utilisateur aurait eu besoin de partager son attention entre la télécommande et la TV plus fréquemment qu'avec la méthode multi-tapes.
- Les petits boutons sont inadaptés aux personnes âgées [71].

Enfin, nous n'avons pas non plus choisi de comparer WeSlide avec un simple clavier alphabétique virtuel puisque notre précédente étude avait montré que notre technique pouvait avoir de meilleurs résultats et était préférée des utilisateurs. De plus, devoir viser une lettre sur un clavier virtuel nécessite une grande précision et une personne âgée peut avoir des difficultés dans cette tâche de pointage.

Six participants (dont quatre femmes) ont pris part à notre étude. Ils étaient âgés de 63 à 83 ans avec une moyenne d'âge de 71 ans. Tous les participants étaient droitiers. Un participant souffrait d'une douleur chronique au poignet et un autre d'un engourdissement des doigts lors de tâches intensives. Aucun des participants n'avait une expérience préalable avec les claviers virtuels ou la Wiimote.

L'expérience a été divisée en 10 sessions avec une pause d'environ un jour entre les sessions. Avant la première séance, les participants ont suivi une session d'apprentissage du clavier WeSlide. Ils ont appris comment pointer une touche, comment sélectionner une lettre en faisant glisser le pointeur et comment utiliser la molette de navigation pour changer de clavier. Pour la méthode de saisie de texte multi-tapes, ils ont appris à rechercher et à sélectionner un caractère, puis à le sélectionner sur la télécommande du téléviseur. La session d'apprentissage durait maximum 10 minutes, mais tous ont fini avant.

Chaque session a duré 20 minutes : 10 minutes d'entrée de texte avec WeSlide et 10 minutes avec le clavier multi-tapes. L'ordre de la méthode de saisie de texte a été inversé entre les sessions. La tâche était la transcription d'un texte. Les phrases à saisir étaient présentées à l'écran et la tâche consistait à saisir la même phrase dans une zone de texte à l'écran. Les phrases étaient présentées dans un ordre aléatoire et provenaient du contexte de la TVi (titre ou information des programmes télévisés).

Pour valider une phrase, le participant devait saisir le caractère « Entrée ». Si la longueur de la phrase entrée était identique à celle de la phrase présentée (plus ou moins un caractère), la tâche était réinitialisée avec une nouvelle phrase, sinon il fallait corriger. Les participants ont été invités à saisir les phrases aussi rapidement et aussi précisément que possible. La correction d'erreurs n'était disponible qu'en effaçant le texte jusqu'au point de l'erreur. Pour WeSlide, le bouton en croix de la Wiimote (cf. Fig. 2. 7) était utilisé pour supprimer le dernier caractère et pour le clavier multi-tapes, il s'agissait du bouton « Clear » de la télécommande du téléviseur (cf. Fig. 2. 12). Après la dernière session, tous les participants ont répondu à un sondage en utilisant une échelle de type Likert. Les questions portaient sur :

- Le périphérique, c'est-à-dire la Wiimote ou la télécommande du téléviseur (fatigue, facilité d'utilisation).
- Le design de WeSlide (couleurs, taille et disposition des caractères, carrousel).
- La sélection d'un caractère avec WeSlide ou la technique multi-tapes (feedback, facilité d'utilisation).
- La comparaison entre les deux claviers (sensation de vitesse, taux d'erreur, préférence générale).

Les participants étaient dans une salle silencieuse simulant le contexte de la TVi (cf. Fig. 2. 14). Ils étaient assis sur une chaise dans une position confortable avec un repose-pieds et des coussins à disposition. Ils étaient à 2,86 mètres de la surface exposée. L'affichage était projeté par un vidéoprojecteur et ajusté à une taille de 30 pouces en diagonale pour simuler un écran TV. La résolution de l'image était de 1280x720 pixels. La partie inférieure de l'écran montre la zone de saisie WeSlide. La partie supérieure affiche les phrases présentées et transcrites.

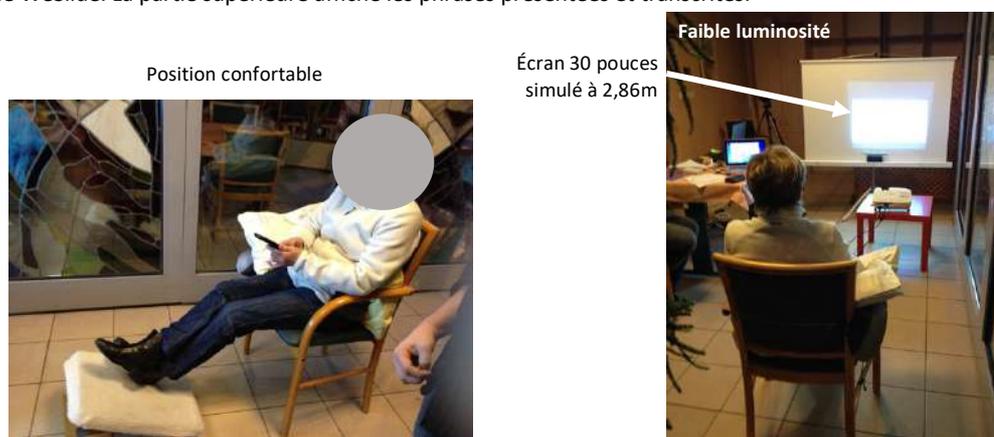


Fig. 2. 14. Salle d'expérimentation.

Résultats

Pour le clavier multi-tapes, nous avons obtenu les mêmes vitesses de saisie que dans l'étude de Iatrino et Modeo pour les personnes âgées novices : entre 2 et 3 WPM (2,8 WPM à la dernière session). Le clavier WeSlide est significativement plus rapide, environ de 52% avec une moyenne de 4,3 WPM. Le taux d'erreur est plus faible pour WeSlide. Pour les deux techniques, il diminue au fil des sessions.

Le taux global de saisie de texte dans cette expérience est faible. En faisant une comparaison croisée avec les études de James et Reischer [44], nous constatons que les participants âgés de notre expérience ont atteint environ un tiers

Chapitre 2 - Technique d'entrée de texte en situation dégradée

du taux de saisie de texte des jeunes adultes. Dans l'étude de James et Reischer, les jeunes adultes ont utilisé un téléphone portable où la distance nécessaire pour passer de l'affichage au clavier est plus courte, mais il est néanmoins probablement juste de dire que nos participants ont été très lents.

L'effet de session est aussi significativement supérieur pour WeSlide : il y a une différence croissante entre les méthodes vers la fin de l'expérience. Au cours de l'expérience, nous avons observé deux problèmes qui ont ralenti les participants initialement avec WeSlide :

- Une tendance à pointer sur le caractère au lieu de la touche qui le contient. Le pointage était lent, car il nécessitait plus de précision que nécessaire.
- Certains participants ont été lents à apprendre le carrousel.

Aucun des participants, y compris les deux qui avaient des handicaps physiques, n'a trouvé l'utilisation de la Wiimote fatigante. Ils ont au contraire trouvé son utilisation facile. La plupart des participants ont été déroutés par l'utilisation du bouton en croix pour supprimer des caractères. Un bouton de retour arrière à l'écran aurait été préféré, comme dans notre première expérimentation. Nous l'avons supprimé en nous basant sur les travaux de Neufeldt pour éviter des appuis non intentionnels [73]. Un seul participant a remarqué que la disposition des caractères était alphabétique. Seuls quelques participants ont remarqué le codage couleur et la disposition du carrousel. Nous ne pouvons donc pas conclure quant à l'utilité de ces caractéristiques. La plupart des participants ont simplement fait pivoter le carrousel jusqu'à ce que le clavier souhaité apparaisse sans comprendre l'ordre ni la structure qu'il contenait. Tous les participants ont trouvé la roue virtuelle facile à utiliser.

Concernant le clavier multi-tapes, un seul participant a déclaré que les caractères étaient faciles à trouver. Quatre participants ont eu du mal à comprendre la technique. De plus, tous les participants sauf un étaient perturbés par la nécessité de diviser l'attention visuelle entre la télécommande du téléviseur et l'écran pendant la saisie de texte.

Cinq participants ont eu une préférence marquée pour WeSlide et un pour la saisie multi-tapes bien qu'il soit plus rapide avec WeSlide. Ce participant utilise le système multi-tapes sur son téléphone portable. Cela rejoint notre remarque en tout début de chapitre sur la difficulté de changer ses habitudes lorsqu'on est expérimenté dans une technique. Quatre participants ont déclaré avoir commis moins d'erreurs avec WeSlide. Les autres n'avaient pas d'opinion. Notre interprétation générale est qu'il y avait une préférence pour WeSlide, mais la mise en œuvre aurait pu être meilleure.

2.5. Conclusion

Les travaux présentés dans ce chapitre avaient pour objectif de concevoir une nouvelle technique de saisie de texte dans une situation dégradée. Nous avons d'abord défini la situation de référence pour pouvoir identifier les dégradations : un utilisateur quasi expert, calme, détendu dans un environnement calme de bureau avec écran et clavier physique. Ensuite, nous avons pu définir la notion de dégradation afin de mieux cibler celle sur laquelle nous sommes focalisés. Nous avons précisé les facteurs de dégradations :

- Des utilisateurs novices, jeune ou âgés.
- Un environnement de loisir dans lequel l'utilisateur n'est pas stressé et peut se trouver dans différentes postures (assis, debout, allongé). L'utilisateur n'est donc pas dans une situation standard de type bureau.
- La tâche principale est l'entrée de texte, mais le périphérique d'entrée utilisé ne pourra pas être un clavier physique.

Dans un premier temps, nous avons lancé une étude sur les techniques d'entrée de texte. L'idée était de mieux cibler les contextes d'utilisation des différentes techniques, leurs avantages et inconvénients par rapport à notre contexte dégradé pour pouvoir proposer une technique innovante. Nous avons pu proposer une taxonomie que nous avons publié pour qu'elle profite aux travaux d'autres chercheurs. Avec les progrès technologiques, il est clair qu'aujourd'hui notre étude mériterait une mise à jour. D'ailleurs l'explosion des smartphones avec leur surface tactile est apparu à la fin de nos travaux. Par contre, il est probable que le clavier standard Azerty/Qwerty a encore de beaux jours devant lui, car encore maintenant tous les ordinateurs en France sont vendus avec un clavier Azerty, y compris les ordinateurs avec écran tactile.

Dans un second temps, nous avons étudié plusieurs solutions pour répondre à la situation dégradée. Nous avons utilisé notre taxonomie pour choisir le type de clavier le plus adapté : un clavier réduit mono-tape avec une méthode de

désambiguïsation simple. Les différents facteurs de dégradations identifiés pour notre situation dégradée ont permis d'affiner les choix de conception. Deux claviers ont été proposés : un clavier par glissement appelé WeGliss et un clavier par rotation. Nous avons utilisé une approche centrée utilisateur en gardant à l'esprit leurs contraintes pendant nos choix de conception, mais aussi pour avoir un retour rapide. C'est ainsi que les premières versions ont immédiatement été testées auprès d'utilisateurs cibles : des enfants et de jeunes adultes. Ce retour des utilisateurs nous a permis très vite d'écarter sans ambiguïté le clavier par rotation. Bien qu'il ait eu des performances inférieures nous aurions pu tenter de l'améliorer, mais les utilisateurs avaient une nette préférence pour l'autre solution et ils le jugeaient très inconfortable.

Afin de mieux cibler le potentiel du clavier WeGliss, nous avons précisé la situation dégradée en ciblant un contexte d'interaction autour de la TVi (Télévision interactive) pour les personnes âgées. Le contexte de la TVi restait similaire à celui des premiers tests exploratoires. Par contre, cibler les personnes âgées permet de répondre à un besoin réel : l'autonomie des personnes âgées et l'accès aux informations via la TVi. Les services proposés par la TVi permettent en effet d'aider les personnes âgées à rester vivre plus longtemps à domicile. Par contre, le verrou scientifique était de proposer un accès à la saisie de texte sur la TV plus simple et tenant compte de leurs capacités physiques et mentales. Nous sommes donc partis des utilisateurs pour trouver les améliorations à apporter à notre clavier pour le rendre accessible aux personnes âgées. Nous avons renommé notre clavier en « WeSlide ». Nous avons expérimenté cette nouvelle approche auprès d'un public sénior. Les résultats sont encourageants, mais plusieurs améliorations (comme par exemple la disposition des caractères ou les couleurs) ne semblent pas avoir servi, en tout cas de manière consciente. Ce sont des aspects qu'il aurait été intéressant d'étudier.

Le point positif est que l'utilisation de ce clavier n'a pas ajouté de dégradations supplémentaires à la situation. Les personnes âgées ont apprécié cette technique. Elles n'ont eu ni de réelles difficultés à apprendre la technique, ni éprouvé de fatigue, et ce même pour des utilisateurs qui avaient des douleurs au poignée ou dans la main. C'était l'une de nos contraintes les plus importantes : proposer une interaction simple utilisable.

Cette étude a eu lieu entre 2005 et 2010. Depuis, les technologies ont considérablement évolués et pourtant l'entrée de texte est toujours restée la même sur la TVi. En 2019, l'enregistrement d'une vidéo sur la TVi se fait toujours via une télécommande avec les mêmes types de technique que celles présentées dans ce chapitre : clavier virtuel commandé par les touches de direction de la télécommande ou clavier multi-tapes avec éventuellement un système de prédiction. Toutes les critiques évoquées sur l'utilisation d'une télécommande pour les personnes âgées sont donc encore d'actualité. La situation reste dégradée.

Chapitre 3

Techniques d'interaction pour les professionnels de Santé

3.1. Motivations

Après des travaux ciblés sur l'entrée de texte, j'ai poursuivi mes recherches sur la conception de nouvelles techniques d'interactions avec des périphériques mobiles. Il suffisait de partir d'un constat simple : c'est l'ère de l'intelligence collective [76]. D'un côté se développent beaucoup de périphériques dont les surfaces d'affichage réduites limitent l'accès aux informations et de l'autre côté ne cesse de croître le nombre d'utilisateurs prêts à recevoir et partager des informations en temps réel. Ils peuvent agir ainsi de manière plus intelligente qu'en étant une personne isolée. La masse d'informations disponibles selon le contexte rend cet échange d'informations difficile. Du point de vue de l'IHM, le verrou scientifique est bien présent : les techniques d'interaction proposées en entrée (i.e. comment permettre à l'utilisateur de transmettre ses connaissances) ou en sortie (i.e. comment donner l'information à l'utilisateur) sur des surfaces d'affichages réduites ne sont pas standardisées. L'interaction en situation de mobilité ajoute une difficulté : Brewster et al. [77] ont étudié des techniques d'interaction n'utilisant pas la vue pour réduire le problème de l'attention visuelle et ont montré qu'il était nécessaire de trouver de nouveaux paradigmes d'interaction alternatifs pour les périphériques portés (« wearable ») et mobiles.

Mes recherches se sont concentrées sur un type de dispositif mobile : les lunettes électroniques. À l'époque où j'ai démarré cette recherche, plusieurs lunettes dont les plus connues sont les Google Glass [5] sont disponibles, mais le constat est toujours le même : la technologie est là, mais il reste à montrer qu'elle est utile et peut apporter une plus-value par rapport à tous les périphériques existants. De nombreuses idées d'applications et de prototypes d'application avec les Google Glass sont apparus [78][79][80], mais pour la plupart les techniques d'interaction proposées pouvaient s'appliquer à un simple smartphone : affichage d'une information sur l'écran (modalité < écran miniature, langage pseudo-naturel >), saisie de donnée via la reconnaissance vocale (modalité < micro, langage pseudo-naturel >), etc. Il était important de trouver un contexte d'usage adapté aux lunettes électroniques ainsi que des techniques d'interaction dédiées, exploitant mieux les possibilités des lunettes. C'est ainsi que notre équipe s'est orientée vers l'étude de nouvelles techniques d'interaction pour les lunettes électroniques dans le domaine de la Santé et en particulier le milieu hospitalier.

3.2. Démarche

Pour réussir dans ce nouvel axe de recherche, il a fallu agir sur plusieurs points stratégiques :

- Comprendre les verrous scientifiques des lunettes électroniques.
- Identifier les utilisateurs visés.
- Disposer d'une équipe de recherche solide.

3.2.1. Comprendre les verrous scientifiques des lunettes électroniques.

Un bon indicateur lorsqu'on veut travailler avec une technologie est de s'intéresser au « Hype Cycle » de Gartner Inc. Gartner Inc. est une entreprise américaine de conseil et de recherche dans le domaine des techniques avancées. Depuis 1995, elle édite chaque année une courbe, appelée « Hype Cycle », qui permet d'identifier la maturité des technologies émergentes et repérer leur précocité, leur potentiel sur le long terme [81]. Le succès précoce des nouvelles technologies, souvent dû à l'engouement des médias s'accompagnent généralement d'échecs. La courbe de Gartner Inc. définit cinq phases [81] :

- *Explosion de la technologie*, qui correspond à l'arrivée sur le marché d'une nouvelle technologie. Sa visibilité commerciale n'est pas prouvée, donc il est difficile de trouver des investisseurs quand on est dans cette phase.
- *Pic des espérances*, qui illustre des attentes exagérées et non réalistes dues à un emballement exagéré. Un certain nombre de sociétés mettront en œuvre cette technologie avec succès, mais beaucoup d'autres termineront en échec.
- *Désillusion*, qui montre que la technologie ne parvient pas à répondre aux attentes et devient vite démodée. Par voie de conséquence, la presse se détourne généralement de ce sujet et de cette technologie.
- *Pente d'éclaircissement*, qui montre la phase où certains vont tenter de mieux comprendre les avantages et ses pratiques d'application de la technologie. C'est dans cette phase qu'on peut voir les 2^{ème} et 3^{ème} génération du produit.
- *Plateau de productivité*, qui montre que la technologie devient de plus en plus stable et les bénéfices qu'elle procure deviennent largement démontrés et acceptés.

En 2014, le « Hype Cycle » plaçait les périphériques portés tels que les lunettes dans la deuxième phase (cf. Fig. 3. 1) : une attente inconsidérée sur son potentiel par rapport à ses possibilités. Il paraissait donc opportun d'étudier leur potentiel et comprendre pourquoi elles ne seraient pas à la hauteur des attentes. Moins d'un an plus tard, le 19 janvier

Chapitre 3 - Techniques d'interaction pour les professionnels de santé

2015, Google a d'ailleurs retiré du marché ses Google Glass, préférant attendre un nouveau modèle techniquement mieux conçu et répondant mieux aux attentes des utilisateurs. Il fallait donc comprendre pourquoi cette technologie n'était pas encore satisfaisante.

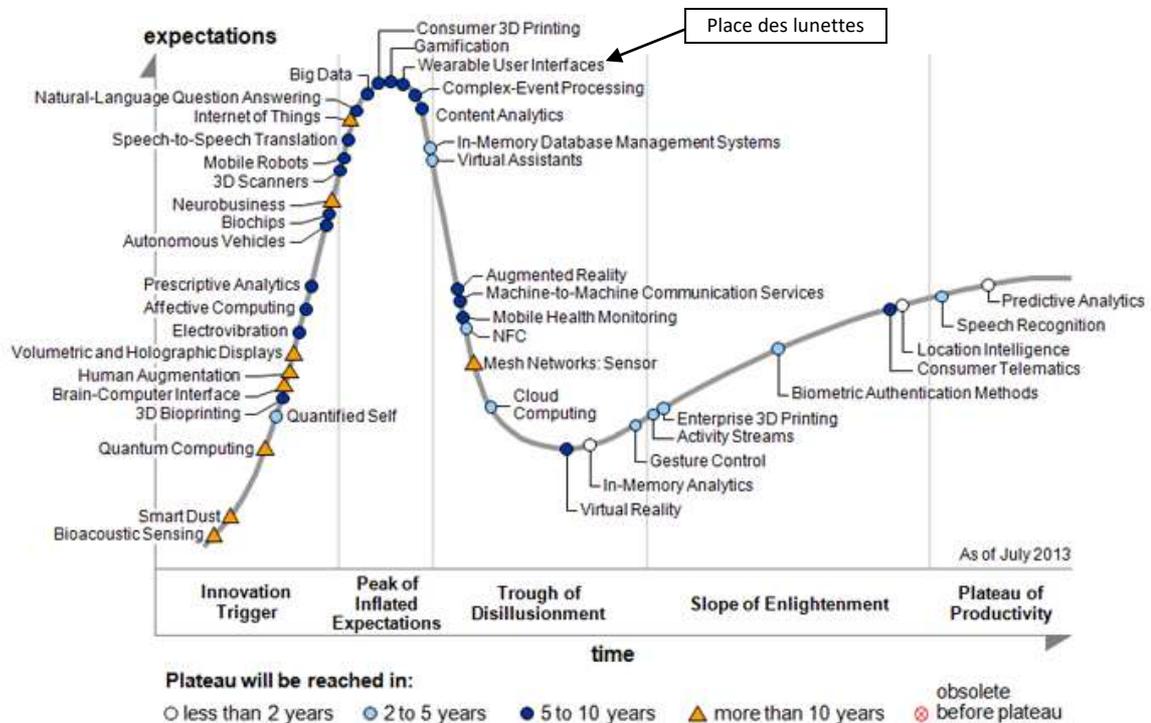


Fig. 3. 1. « Hype cycle » de Gartner pour les technologies émergentes en 2014.

Beaucoup de challenges sont lancés [82] :

- Les effets sur la vision dans le cas d'une utilisation prolongée. De plus, sur plusieurs modèles la vue numérique n'est proposée que sur un œil entraînant une vue asymétrique. On peut se demander quelles sont les conséquences pour la vue. Ces questions posent des verrous du côté de l'optique.
- La sécurité des données. Les lunettes peuvent filmer à l'insu des personnes et transmettre des données privées sans autorisation. Les caméras embarquées peuvent filmer des données confidentielles et les lunettes étant connectées peuvent interpréter ces données et les diffuser à l'insu des gens.
- La conception des lunettes. C'est un objet porté sur le visage, il faut donc tenir compte de l'aspect esthétique tout en proposant un maximum de fonctionnalités.
- L'acceptation de la technologie. Il ne s'agit pas seulement de l'utilisateur des lunettes, mais aussi des autres personnes qui peuvent refuser d'être face à un porteur de lunettes électroniques par peur d'être analysé par les lunettes.
- La dimension psychologique. Alors qu'elles permettent de développer l'intelligence collective, elles peuvent aussi créer une distance sociale avec les autres, voire un isolement, car l'utilisateur risque d'être peu attentif au monde réel.

Notre tâche était donc complexe, car beaucoup de challenges ne sont pas liés directement à des problématiques IHM. Par contre, de manière indirecte, il était nécessaire de considérer toute la technologie (capteurs et effecteurs) qu'elles pourraient embarquer, pour penser aux interactions possibles. Le périphérique est porté (« wearable »), ce qui peut paraître plus compliqué. Les recommandations sur le développement de telles périphériques [83] laissent à penser qu'elles seront incomplètes, voire inadaptées avec l'introduction de nouvelles technologies et d'interactions. Les verrous scientifiques en IHM sont complexes car ils combinent plusieurs aspects :

- Travailler avec un périphérique de taille réduite pour lequel il n'y a pas de normes de conception. La difficulté est de proposer des techniques d'interaction indépendantes du périphérique.

Chapitre 3 - Techniques d'interaction pour les professionnels de santé

- Gérer la multimodalité en entrée et en sortie est une tâche difficile si on considère les types variés de capteurs et d'effecteurs disponibles sur les lunettes ou que l'on peut intégrer dans de nouvelles lunettes.
- Considérer la mobilité portée (sur le visage), ce qui impacte l'interaction possible et le fait de pouvoir se déplacer tout en pouvant continuer l'interaction. Il faut trouver de nouveaux paradigmes d'interaction.
- Tenir compte du contexte de l'interaction. Le choix du contexte va avoir un impact sur les challenges cités précédemment.

3.2.2. Connaître les utilisateurs

Encore une fois, les utilisateurs vont avoir un rôle central dans cette recherche. Nous nous sommes focalisés sur les professionnels de Santé. Contrairement à mes précédents travaux, les utilisateurs n'ont pas de handicaps physiques particuliers. C'est le contexte de l'interaction qui va être contraignant. Les techniques d'interaction vont devoir s'adapter à des cas d'usage qui vont limiter les actions possibles de l'utilisateur. Par exemple, le médecin ne pourra pas utiliser ses mains pour interagir, non pas par handicap physique, mais parce qu'il les utilise déjà pour ausculter son patient. Ainsi s'il doit utiliser les lunettes en même temps il faut tenir compte de ce handicap dû au contexte d'usage.

Il s'agissait de comprendre le milieu hospitalier et les différents métiers. Au début de la recherche, nous voulions cibler comme porteurs de lunettes potentiels : les infirmières et les médecins. Nous devions initialement travailler avec un hôpital local, mais cela n'a pas été possible en raison de la lenteur administrative pour établir une convention de partenariat pour nous autoriser à échanger avec le personnel médical. Concernant les infirmières, nous avons utilisé un scénario de travail déjà créé à partir de l'interview d'une infirmière de la clinique universitaire de Saint-Luc de Bruxelles en Belgique [84]. Pour les médecins, nous nous sommes focalisés sur le service de soins intensifs, car nous avons pu réaliser quelques interviews avec des médecins du service des urgences de l'hôpital universitaire de l'Illinois à Chicago.

3.2.3. Disposer d'une équipe de recherche

J'ai appliqué une démarche similaire aux précédentes recherches sur trois niveaux : groupe, laboratoire et réseau.

Au niveau groupe, j'ai continué à travailler avec des étudiants niveau BAC+4 ou 5 dans le cadre de stages ou de travaux d'initiation à la recherche. Nous avons étudié quelques pistes de recherche directement liées à la mise en œuvre de nouvelles techniques d'interaction dans le domaine de la Santé. Certaines ont pu être approfondies par la suite comme la technique Fisheye :

- Techniques de visualisation :
 - Attil Kahina et Ahlem Amnache, Étude de la technique d'interaction Fisheye, 11/2011-05/2012, M1 informatique.
 - Solène Schuster, Adaptation du clavier fisheye au concept des tuiles, 11/2015-05/2016, M1 informatique.
 - Thibault Guisse et Gabriel Martino, Le fisheye et les interfaces à tuiles, 11/2015-05/2016, M1 informatique.
 - Dorian Kaced et Simon Maxime, Étude de la technique du carrousel, 11/2015-05/2016, M1 informatique.
- Technique d'optimisation pour les interfaces à tuiles :
 - Imed Maamria, Taylan Agbulut et Quang Dong Oliver Tran Quang, Étude de techniques d'optimisation, 11/2015-05/2016, M1 informatique.
- Étude de cas d'usage dans le domaine de la Santé :
 - Gautier Hupays et Jérémie Nenich, Application de gestion de messages d'urgence, 10/2014-03/2015, M2 informatique.
 - Pierre Bolzinger, Apprentissage des gestes de premiers secours, 10/2014-03/2015, M1 informatique.

Au niveau laboratoire, il était important d'impliquer un travail de thèse sur le sujet. Comme nous n'avions pas un financement complet, j'ai réussi à obtenir un co-financement de la région Lorraine. J'ai pu co-encadrer avec Benoît Martin la thèse de Jérôme Forrier. Malheureusement, après 8 mois de travail et une publication [IP9], l'étudiant est tombé gravement malade et s'est éteint en novembre 2016. À partir du mois d'avril 2016, j'ai réussi à recruter un nouvel étudiant, Ilyasse Belkacem, pour reprendre les travaux de thèse de Jérôme Forrier. Nous avons pu travailler ensemble sur la définition de nouvelles techniques d'interaction pour des lunettes électroniques pour les professionnels de Santé.

Au niveau réseau, j'ai participé au projet eGlasses avec plusieurs chercheurs européens spécialisés dans le domaine de la conception de lunettes électroniques et de techniques d'interactions innovantes. Enfin, après ce projet, j'ai mis en

Chapitre 3 - Techniques d'interaction pour les professionnels de santé

place une collaboration avec le professeur Anthony Faiola du laboratoire de sciences biomédicales et d'information de santé (Department of Biomedical and Health Information Science) situé à l'Université de l'Illinois à Chicago pour bénéficier de son expertise sur l'usage des nouvelles technologies dans le contexte médical. Ilyasse Belkacem a pu partir 3 mois (du 30 juin 2018 au 30 septembre 2019) chez le professeur Faiola afin de tester les nouvelles techniques d'interaction que nous avons proposées dans le cadre du projet eGlasses, auprès du personnel hospitalier affilié à l'Université de Chicago. Le fruit de cette collaboration a permis de rédiger plusieurs articles [IP12][IP14][IP15].

3.3. Approche scientifique

3.3.1. Le projet eGlasses

Présentation

Ce projet s'intéresse au développement d'une plateforme basée sur des lunettes électroniques multi-sensorielles ainsi qu'à la conception de nouvelles techniques d'interactions intelligentes utilisant cette plateforme. Il s'agit d'un premier développement se concentrant sur des recherches innovantes et technologiques dans le domaine de la détection d'informations sur l'environnement et sur l'utilisateur (rythme cardiaque, température, etc.) en créant un média mobile incluant des périphériques multimédias capables d'acquérir ces informations. Il sera possible par exemple de reconnaître le nom d'une personne, les paramètres physiologiques anormaux ou encore protéger l'utilisateur de blessures à la tête.

Le but du projet est de proposer et d'évaluer de nouvelles techniques d'interactions qui seront à destination des professionnels de santé, des personnes handicapées ou à risque d'exclusion et de tester les modèles comportementaux de ces utilisateurs en situation de mobilité. Les principaux objectifs scientifiques et technologiques du projet sont de concevoir et d'évaluer :

- Les différents dispositifs embarqués sur les lunettes (suivi oculaire, capteurs de mouvement, radar haptique de proximité, etc.) pour un utilisateur mobile dans un environnement réel et bruyant.
- Les algorithmes de perception des données environnementales et physiologiques.
- Les méthodes pour localiser les objets et guider la vue vers les objets identifiés.
- Les techniques d'interactions avec les utilisateurs ou les objets (menu des activités pour une personne ou un objet identifié, etc.).
- Les méthodes pour reconnaître les gestes de l'utilisateur et ceux de la personne observée.
- Les méthodes sur la prise en compte du contexte.

Le projet doit proposer un prototype intégrant de nouvelles technologies via un certain nombre de périphériques miniaturisés en entrée et en sortie pour pouvoir être évalué. La plateforme fournira sa propre interface de programmation (API) pour contrôler ces périphériques et sera munie d'une communication sans fil pour atteindre d'autres périphériques. L'interface de programmation intègrera les principales techniques d'interaction évaluées ainsi que les différents algorithmes de reconnaissance de données environnementales et physiologiques. Trois scénarios sont envisagés dans le projet eGlasses pour vérifier la pertinence des nouvelles techniques d'interactions proposées :

- Un outil de détection et d'évaluation pour les professionnels de santé (infirmières, urgentistes, etc.).
- Un outil d'aide pour les personnes à besoins spécifiques (capteur de proximité, reconnaissance des couleurs, reconnaissance des personnes, etc.).
- Un outil pour l'analyse comportementale (analyse de l'activité d'une personne par rapport à son environnement, réponse aux événements de perception, etc.)

Équipe de recherche

Tableau 4. Les partenaires du projet eGlasses

Participants	Pays	Responsable local
1 Gdansk University of Technology / FETI	Pologne	Jacek Ruminski
2 University of Applied Sciences Upper Austria / MIL	Autriche	Michael Haller
3 Hochschule Luzern, Technik & Architektur / iHomeLab	Suisse	Martin Bialas
4 Université de Lorraine / LCOMS	France	Benoît Martin
5 Université du Luxembourg / SnT	Luxembourg	Thomas Engel

L'équipe était constituée de 5 partenaires (cf. Tableau 4). Tous les chercheurs impliqués travaillaient soit dans le domaine de l'électronique pour la partie conception des lunettes, soit dans le domaine de l'IHM pour la mise en place de nouvelles techniques d'interactions. Du côté de mon laboratoire, nous étions initialement cinq chercheurs impliqués,

mais au final je n'ai travaillé qu'avec Benoît Martin. Durant ce projet, nous avons pu recruter deux thésards que j'ai co-encadrés : Jérôme Forrier et Ilyasse Belkacem. Notre équipe a collaboré principalement avec les partenaires 1 et 5.

Méthodologie de travail

Le projet était découpé en 8 lots interconnectés (cf. Fig. 3. 2) :

1. Gestion de projet.
2. Analyse des besoins et conception pour la plateforme eGlasses.
3. Développement matériel et logiciel de la partie principale de la plateforme eGlasses.
4. Développement d'extensions d'entrée / sortie pour la plateforme eGlasses: un module de suivi oculaire, un micro affichage et un radar de proximité.
5. Développement, implémentation et évaluation d'algorithmes de reconnaissance des gestes de l'utilisateur porteur des lunettes eGlasses et de reconnaissance des gestes de la personne observée.
6. Analyse des besoins, développement et évaluation d'applications de référence pour assister les professionnels de santé.
7. Analyse des besoins, développement et évaluation d'applications de référence pour assister les personnes handicapées, pour identifier des objets et proposer une interface tenant compte du contexte ambiant.
8. Diffusion et exploitation.

Dans ce projet, je suis intervenue principalement dans les lots 1, 2, 6 et 8.

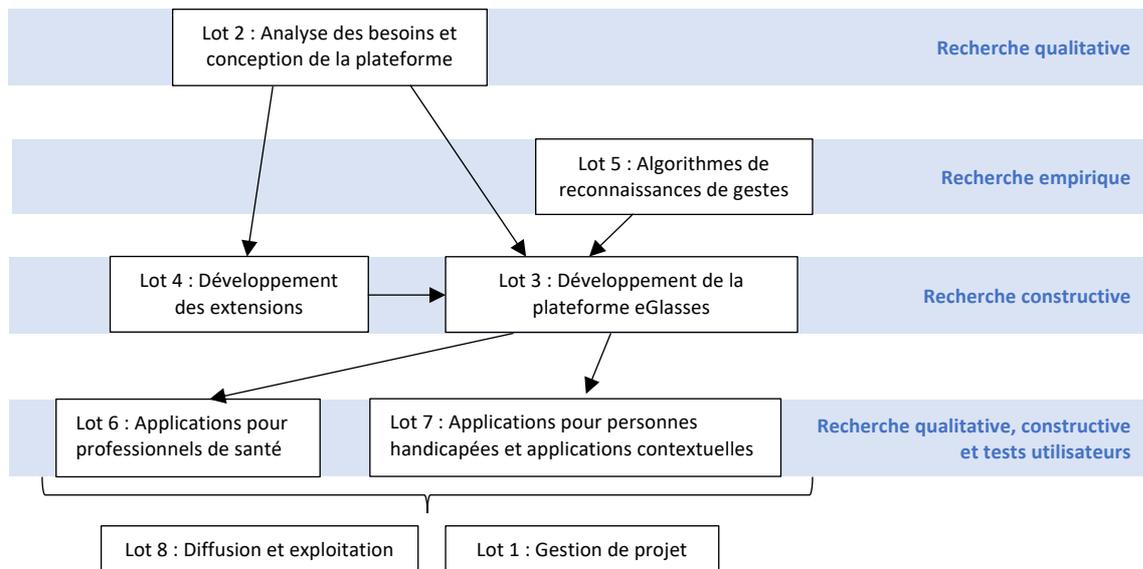


Fig. 3. 2. Dépendances entre les lots et type de recherche.

3.3.2. L'après eGlasses

Le projet eGlasses s'est officiellement terminé en juin 2017. Les travaux de recherche se sont poursuivis après le projet eGlasses. Notre équipe n'avait pas pu expérimenter beaucoup de nouvelles techniques d'interaction sur les lunettes électroniques, car nous n'avions reçu le prototype des lunettes que la dernière année du projet. Les lot 3 et 4 ont pris plus temps que prévu, car la conception de la plateforme était complexe et a demandé des composants électroniques pointus difficiles à embarquer sur la plateforme. De plus, la seconde thèse a démarré environ un an avant la fin du projet, il restait encore environ deux ans de travaux à effectuer sur le sujet. Notre approche scientifique était simple (cf. Fig. 3. 3) :

- Choisir un périphérique fiable pour continuer les recherches.
- Faire un bilan de notre travail, identifier les techniques développées dans le cadre du projet et voir comment utiliser ce travail.
- Identifier les nouvelles techniques à développer par rapport à celles déjà développées.
- Préciser le cas d'usage et prévoir des tests utilisateurs.

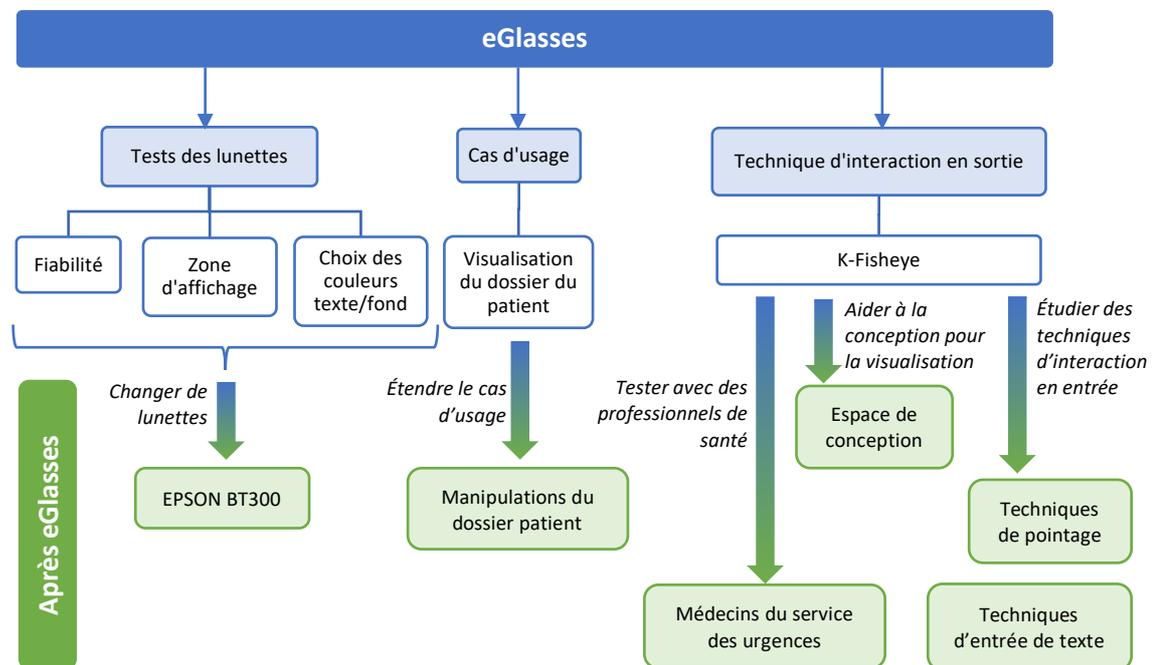


Fig. 3. 3. Approche scientifique après le projet eGlasses.

Il n'était pas possible de continuer nos travaux avec la plateforme eGlasses, car elle n'était pas suffisamment stable pour envisager de tester des techniques d'interaction :

- Les lunettes ne s'ajustent pas à la tête des utilisateurs si bien qu'il est difficile de les garder fixes sur la tête pour certains utilisateurs.
- La coque n'est pas solide car elle a été prototypée avec une imprimante 3D. Les branches se sont cassées rapidement après quelques essais.
- D'un utilisateur à l'autre la surface d'affichage n'est pas la même. Les lunettes proposent une résolution de 1024x768. Nous avons réalisé quelques pré-tests avec douze utilisateurs (dont deux femmes) en leur demandant de définir la zone d'affichage qu'ils voyaient : aucun ne voyait le même rectangle (emplacement et taille différents), ce qui fait qu'en prenant l'intersection de toutes les zones, on obtient une zone d'affichage inacceptable pour envisager une quelconque interaction (cf. Fig. 3. 4).
- La version finale ne fonctionne pas sur batterie, ce qui rend des tests en situation de mobilité irréalistes.

Dans ces conditions, il n'était pas possible de tester de nouvelles techniques : le matériel provoquerait trop de perturbations qui nuiraient à la technique. L'un de nos partenaires (partenaire 5 Tableau 4) avait travaillé pendant le projet avec des lunettes EPSON BT300 que nous avons pu tester (cf. Fig. 3. 5). Nous avons choisi de les utiliser, car elles offrent un très bonne qualité d'image (écran OLED, résolution 1280x720 pixels), elles peuvent se porter sur des lunettes de vue, elles sont légères, elles fonctionnent sur batterie et possèdent suffisamment de capteurs pour envisager différentes techniques d'interaction (GPS, boussole, gyroscope, accéléromètre, etc.).

Le travail réalisé dans le cadre du projet fut très exploratoire puisque les lunettes ont été mises à disposition très tard. Nous avons réalisé plusieurs tests basiques sur le matériel pour voir s'il était utilisable : fiabilité de l'allumage des lunettes (temps d'affichage et succès de l'allumage), taille du texte (les seuils de visibilité), choix des couleurs (discrimination couleur de fond et celle du texte) et zone d'affichage visible. La seule technique d'interaction réellement expérimentée est une technique d'interaction en sortie : la vue K-Fisheye (cf. 3.4.1). Cette technique nécessite en entrée une tâche de sélection pour pouvoir naviguer dans l'espace affiché avec la vue Fisheye. Nous n'avons pas eu le temps d'explorer cette problématique. Il était donc important d'étudier quelles techniques de pointage seraient adaptées avec des lunettes électroniques (cf. 3.4.3). La vue K-Fisheye a été introduite dans un cas

d'usage : la visualisation de dossiers patients électroniques dans un hôpital. Il paraissait intéressant de poursuivre nos travaux dans ce cas d'usage en allant dans deux directions :

- Proposer une aide à la conception d'une interface dans ce cas d'usage. L'idée est de mieux cerner le cas d'usage pour guider les concepteurs dans leur choix. Nous avons donc travaillé sur la définition d'un espace de conception (cf. 3.4.2).
- Étendre le cas d'usage à la manipulation des dossiers patients. Il s'agissait notamment de s'intéresser à la saisie d'information et proposer une technique d'entrée de texte compatible avec les lunettes électroniques (cf. 3.4.4).

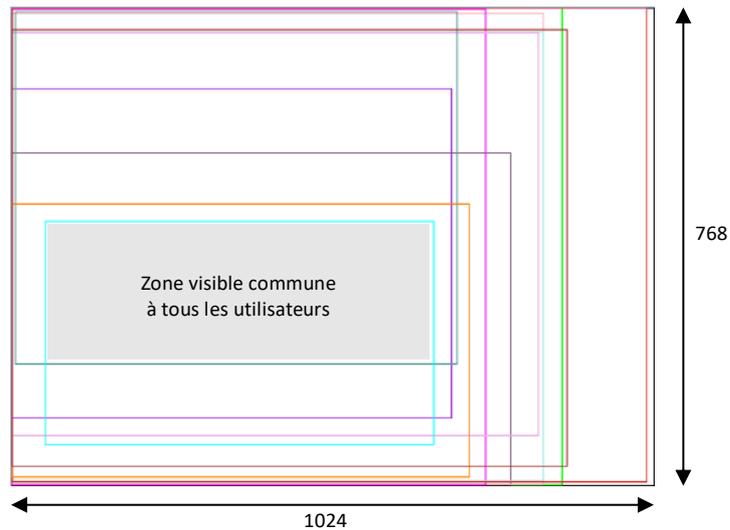
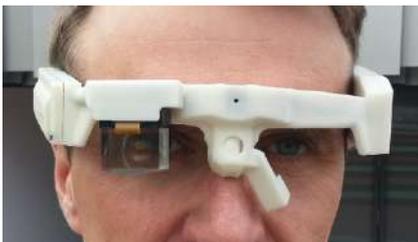


Fig. 3. 4. Surfaces d'affichages visibles sur eGlasses pour chacun des douze utilisateurs .

Enfin, il était important d'avoir un retour des professionnels de Santé, puisque dans le cadre du projet, nous n'avions pas pu réellement avoir de retours. Nous avons donc cherché à collaborer avec d'autres chercheurs travaillant dans ce domaine. Nous avons pu ainsi profiter de l'expertise et des contacts du professeur Anthony Faiola du laboratoire de sciences biomédicales et d'information de santé (Department of Biomedical and Health Information Science) situé à l'Université de l'Illinois à Chicago (cf. 3.4.2).



Dernière version de la plateforme eGlasses



EPSON Moverio BT300

Fig. 3. 5. Les lunettes électroniques utilisées.

3.4. Résultats

3.4.1. Technique k-Fisheye

Les résultats présentés dans cette partie correspondent à des travaux initiés dans le cadre de projets de recherche avec des étudiants de Master, puis qui se sont poursuivis pendant le projet eGlasses avec la thèse d'Ilyasse Belkacem que j'ai co-encadrée [85]. Je vais présenter une synthèse basée sur la publication réalisée sur le sujet [IP16].

3.4.1.1. Cas d'usage

Le dossier patient électronique DPE (Electronic Health Record ou EHR en anglais) contient toutes les données sur la santé globale du patient. C'est « l'ensemble complet d'informations qui se trouvent sous forme électronique et qui sont liées à l'état de santé passé, présent et futur ou aux soins de santé donnés à un patient » [86]. Avec les informations précises qu'ils renferment sur le patient, les systèmes DPE peuvent aider les praticiens à améliorer la qualité des soins, l'efficacité et la coordination du travail [87]. Toutefois, pour y parvenir, il faut qu'ils puissent proposer un affichage adapté aux utilisateurs et au contexte d'usage. La visualisation de l'information est un moyen d'améliorer la compréhension de données complexes et, par conséquent, d'accroître la valeur des données médicales disponibles par voie électronique [88]. Contrairement à d'autres domaines scientifiques, la visualisation de l'information pour les systèmes DPE n'est pas trop avancée. La représentation des données est souvent sous forme de tableaux incluant des graphiques malgré les différentes possibilités que la visualisation de l'information peut offrir [89]. Il s'agit d'un véritable challenge, car :

- Les utilisateurs des systèmes DPE peuvent provenir de métiers différents : médecin spécialisé dans une discipline, infirmière, orthophoniste, personnel administratif, etc. Ils ne vont pas vouloir accéder aux mêmes informations, ou auront besoin de visualisations adaptées à leur domaine de compétence.
- Les utilisateurs travaillent dans un environnement complexe, parfois sous pression et doivent accéder à différents types d'informations dans différentes situations. La métaphore du bureau ne peut s'appliquer dans tous les cas. Ils peuvent être en situation de mobilité, dans une chambre d'un patient, dans une salle d'opération, etc.
- La masse d'informations stockées dans un systèmes DPE est volumineuse. Il n'est pas possible de tout afficher.

Nous avons choisi comme cas d'usage des lunettes électroniques la visualisation du DPE en milieu hospitalier par un médecin. Il s'agit de trouver une technique d'interaction en sortie capable de relever ces challenges. On note cette technique $\langle d, l \rangle$, où d représente les lunettes électroniques et l un langage d'interaction capable d'afficher les informations présentes dans un DPE.

3.4.1.1. Techniques de visualisation pour les grands espaces de données

Distorsion vs non distorsion

Lorsque les informations sont trop nombreuses pour être visibles sur un écran, deux stratégies sont possibles [90] : avec ou sans distorsion. Une technique sans distorsion ne montre qu'un sous ensemble des informations et propose une technique pour accéder aux informations cachées. C'est le cas par exemple des techniques comme le multifenêtrage, l'affichage sur un ensemble de pages ou utilisant une barre de défilement. Les techniques de non-distorsion sont peu efficaces si l'espace de données est très grand. Sans vision globale, l'utilisateur ne pourra pas explorer son espace de données de manière efficace [91]. Les techniques de distorsions permettent de résoudre ce problème : elles affichent simultanément une partie locale avec un niveau élevé de détails et une vue du contexte global avec moins de détails sur le même écran. Il existe différentes techniques (cf. Fig. 3. 6), mais celle qui nous intéresse est la technique vue œil de poisson ou Fisheye.

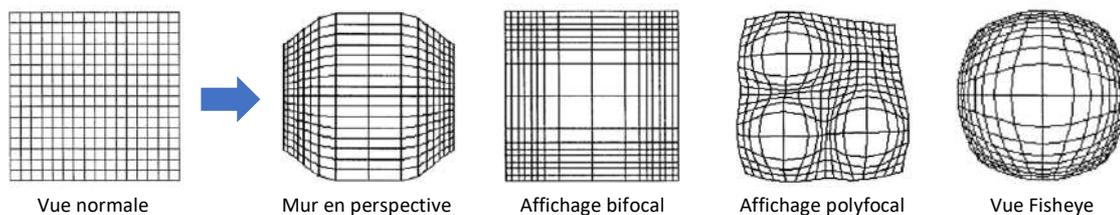


Fig. 3. 6. Exemples de techniques de visualisation avec distorsion.

La vue Fisheye

La vue Fisheye, aussi appelé « Focus + Contexte » proposée par Furnas [92] est caractérisée par une fonction de degré d'intérêt qui mesure l'intérêt de chaque information pour la présenter à l'utilisateur. Elle s'inspire des lentilles des caméras Fisheye qui grossissent les objets proches et réduisent les objets éloignés pour avoir une vue locale en détail et une vue du contexte global. Le détail de la vue locale favorise l'interaction alors que la vue globale permet de situer l'information par rapport aux autres éléments. La vue est basée sur une fonction mathématique du degré d'intérêt (DOI Degree Of Interest) qui assigne à chaque élément de donnée de la structure une valeur qui montre comment l'utilisateur est intéressé par voir cet élément, compte tenu du point en cours. Cette technique permet aussi d'afficher

la structure de donnée avec la taille souhaitée tout simplement en montrant les éléments de données les plus intéressants qui ont la valeur de la fonction DOI la plus élevée.

Définition 18 Le degré d'intérêt $DOI_{fisheye}$ d'un utilisateur pour un élément i sachant que l'élément de focalisation actuel de l'utilisateur est f_u est définie par : $DOI_{Fisheye}(i | f_u) = API(i) - D(i, f_u)$

La fonction degré d'intérêt attribuée à chaque élément i de l'information a une valeur composée de l'importance a priori de l'élément $API(i)$ et la distance $D(i, f_u)$ entre l'élément en question i et l'élément d'information de focalisation actuel f_u . L'importance $API(i)$ est statique et ne dépend pas de l'élément de focus actuel. La valeur du degré d'intérêt augmente avec l'importance et diminue avec la distance. Nous pouvons fixer un seuil k et n'afficher que les éléments d'informations qui ont un degré d'intérêt supérieur au seuil avec $DOI_{Fisheye}(i | f_u) \geq k$.

Le travail de Furnas ne montre pas comment le degré d'intérêt est utilisé pour le représenter sur une vue Fisheye. Sarkar et al. [93] ont défini des formules mathématiques pour les applications graphiques. Ils ont proposé quatre fonctions : la position, la taille, la quantité de détails à afficher, et la valeur visuelle de chaque sommet d'un graphe.

Plusieurs travaux ont ajouté des liens sémantiques entre les données de la vue Fisheye pour donner une signification à l'exploration de données, la raffiner et la rendre efficace :

- Zizi et al. [94] ont utilisé un Fisheye sémantique dans une carte interactive pour les documents. Leur technique est basée sur des requêtes sur le web et des techniques de recherche d'informations. Les documents sont des vecteurs de mots clés. L'idée de base est que si deux documents sont similaires, leurs vecteurs sont similaires. Cette similarité est ensuite utilisée comme un degré de détail du document sur la vue Fisheye.
- Van Ham et al. [95] ont choisi la vue Fisheye sémantique pour la visualisation interactive du phénomène du petit monde. Ils ont utilisé un algorithme de clustering pour afficher clairement tous les sous-graphes fortement connectés.
- Janecek et al. [96] ont développé un cadre pour un itinéraire de vol en utilisant les relations entre les itinéraires à travers un modèle de vols et en calculant la distance entre ces différents vols. Leur prototype est représenté dans un tableau de données. Les vols liés sont soulignés par un changement de la taille de police, le niveau du gris et la hauteur de la ligne dans le tableau.

3.4.1.1. Définition de la vue K-Fisheye

Les données médicales dans les DPE sont fortement liées : par exemple, certains problèmes de santé et des médicaments. Ainsi la vue Fisheye paraît adaptée pour montrer ces liaisons sémantiques. Notre objectif est de définir une fonction d'intérêt adaptée à notre problème et de trouver comment exprimer ces liens. Nous appelons la vue Fisheye adaptée, la vue K-Fisheye.

Nouvelle fonction DOI

Dans la formule de Furnas citée précédemment, l'importance a priori de l'élément d'un élément d'information i , $API(i)$, est statique. Elle ne dépend pas de l'élément de focalisation actuel. Nous proposons une reformulation pour que cette importance soit dynamique par rapport à l'élément de focalisation actuel f_u .

Définition 19 Le degré d'intérêt $DOI_{K-Fisheye}$ d'un utilisateur pour un élément i sachant que l'élément de focalisation actuel de l'utilisateur est f_u est défini par : $DOI_{K-Fisheye}(i | f_u) = API(i, f_u) - D(i, f_u)$

L'objectif principal de cette reformulation est de fournir des informations supplémentaires intéressantes sous certaines conditions de focalisation de l'utilisateur. Nous visons par cette reformulation l'amélioration de la découverte de l'utilisateur de nouveaux éléments qui sont fortement liés à l'élément de focalisation actuel. La fonction DOI est généralement utilisée pour des structures de données hiérarchiques, des textes structurés, des calendriers. Nous voulons appliquer cette fonction pour une interface à tuiles sur les lunettes électroniques. À travers notre approche, nous voulons rendre les tuiles accessibles à l'utilisateur avec une vue sémantique.

Ontologie et modèle sémantique

Chaque tuile sur l'interface des lunettes électroniques contient un élément d'information du dossier patient. Notre objectif est d'agrandir les tuiles des informations qui sont liées sémantiquement à l'information contenue dans la tuile pointée par la vue Fisheye. Nous utilisons une ontologie pour identifier les différents liens entre les éléments

d'information. Dans le contexte des systèmes d'information, une ontologie peut être considérée comme un modèle de données hiérarchiques et relationnelles, mais destiné à la modélisation des connaissances [97]. Dans leur structure, les ontologies sont modélisées par des graphes, où les nœuds sont constitués par des concepts et les arcs, par des relations entre les concepts. Les instances des concepts ont les mêmes relations, mais elles doivent respecter les restrictions imposées par les limitations des valeurs, les disjonctions et les relations logiques spécifiées par l'ontologie. Une ontologie permet la couverture des termes d'un domaine donné. Si elle est bien structurée, elle permet des raisonnements valides [98]. Prenons l'exemple d'une question que se pose le professionnel de santé au sujet d'un patient : « Le patient a-t-il une allergie qui se complique avec la prescription d'un médicament ? ». La vue Fisheye va permettre de déduire et montrer ces relations pertinentes entre les différentes informations dans le dossier patient.

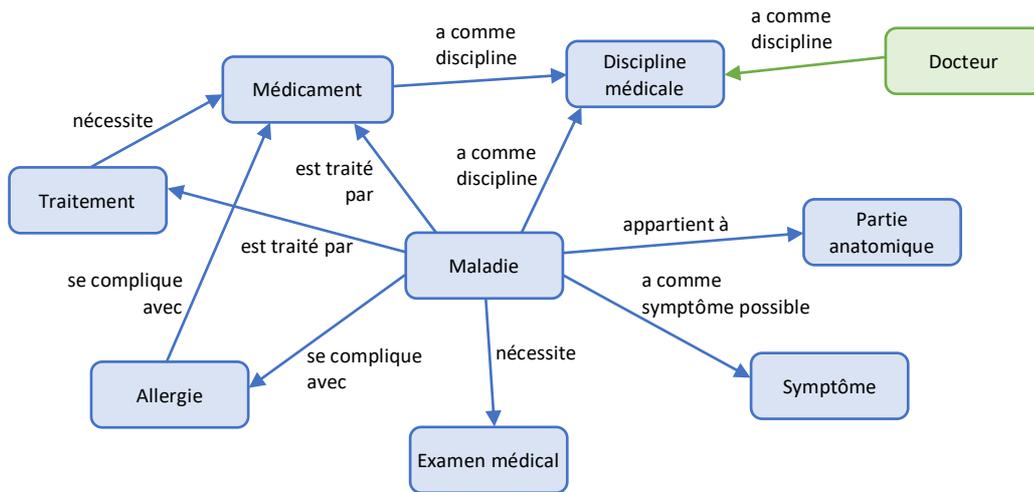


Fig. 3. 7. Modèle sémantique des informations médicales.

Nous proposons un modèle sémantique centré sur les maladies avec différents concepts qui permettent de calculer la similarité sémantique entre les différentes informations médicales (cf. Fig. 3. 7). Les informations médicales sont organisées en huit catégories : « Maladie », « Médicament », « Traitement », « Allergie », « Examen médical », « Symptôme », « Partie anatomique » et « Discipline médicale ». Nous avons utilisé l'ontologie LERUDI (Lecture Rapide en Urgence du Dossier Informatisé) de Gayet et al. [99] pour extraire les différentes instances liées à notre modèle sémantique (cf. Fig. 3. 8).

Similarité sémantique

Après la construction du modèle, il faut définir une mesure de similarité qui permet de quantifier d'une façon numérique la proximité sémantique entre deux informations médicales à partir du modèle construit. La similarité entre deux informations peut être définie par les propriétés en commun. Deux informations médicales qui ont des propriétés communes sont similaires [100]. Pour notre modèle, nous avons besoin de calculer la similarité entre les catégories à lesquelles les propriétés appartiennent (Maladie, Médicament, etc.). On distingue deux types de propriété : les propriétés organisées hiérarchiquement (par exemple, les propriétés de la catégorie Maladie) ou non (par exemple les propriétés de la catégorie Discipline médicale). Différents modes de calculs de proximités sémantiques suivant la nature des propriétés sont présents dans la littérature [101]. Notre calcul intègre les deux types de propriétés pour avoir une seule valeur numérique qui représente la similarité entre deux éléments d'informations.

Définition 20 La similarité entre deux propriétés p_1 et p_2 de type hiérarchique est définie par Wu et al. [102] :

$$sim_{hierarchique}(p_1, p_2) = \frac{2 \times depth(lcl(p_1, p_2))}{depth(p_1) + depth(p_2)}$$

où $depth(lcl(p_1, p_2))$ est la profondeur du plus petit généralisateur commun des propriétés p_1 et p_2 .
 $depth(p_1)$ et $depth(p_2)$ sont respectivement les profondeurs des propriétés p_1 et p_2 .

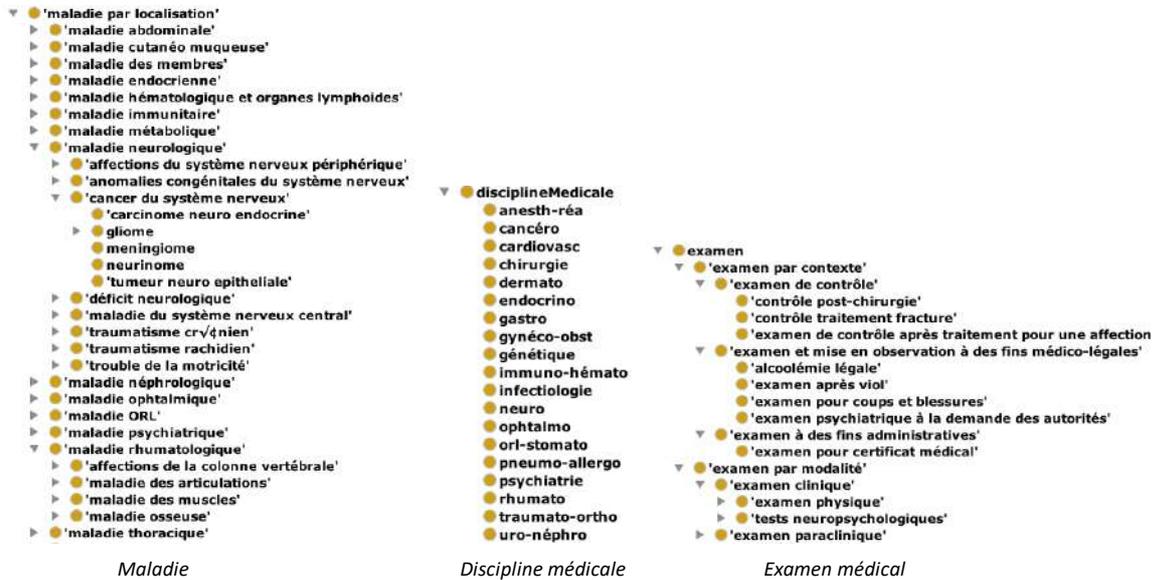


Fig. 3. 8. Organisation de différents concepts de notre modèle sémantique dans l'ontologie LERUDI

Définition 21 La similarité entre deux propriétés p_1 et p_2 non hiérarchiques est définie par Niwattanakul et al. [103] :

$$sim_{nonhierarchique}(p_1, p_2) = \frac{\{p_{11} \dots p_{12}\} \cap \{p_{21} \dots p_{22}\}}{\{p_{11} \dots p_{12}\} \cup \{p_{21} \dots p_{22}\}}$$

où $\{p_{11} \dots p_{12}\}$ et $\{p_{21} \dots p_{22}\}$ sont respectivement les valeurs des propriétés de p_1 et p_2 .

Définition 22 La similarité entre deux éléments d'information e_1 et e_2 est définie par :

$$sim(e_1, e_2) = \frac{\sum_k sim_k(p_1, p_2)}{\sum k}$$

où $sim_k(p_1, p_2)$ est la similarité entre deux propriétés selon leur type (cf. Définition 20 et 21).

Définition 23 La fonction DOI devient : $DOI_{K-Fisheye}(e_1 | e_2) = sim(e_1, e_2) - D(e_1, e_2)$

Prototype et expérimentation

Nous avons développé un prototype d'interface à tuiles pour montrer la vue K-Fisheye (cf. Fig. 3. 9 (c)). Nous calculons les différentes similarités à partir du modèle. Chaque tuile dans l'interface contient une information médicale. Pour ce prototype, l'information n'est pas réellement affichée dans la tuile mais elle est modélisée. Pour illustrer la disparité, les tailles et les couleurs des tuiles peuvent varier. L'idée est de superposer les tuiles en les agrandissant si elles se trouvent dans la même zone que l'élément de focalisation actuel.

L'exemple montre que lorsque le docteur Jones (cardiologue) pointe vers la tuile qui contient son nom, les informations en liaison avec sa spécialité sont mises en évidence sur la vue. D'après le calcul sur le modèle et lorsque l'utilisateur pointe la tuile ①, il y a une similarité entre l'information de cette tuile et les différentes informations des tuiles ②, ③, ④, ⑤, ⑥ et ⑦. Les tuiles contiennent également les informations ① Jones - Cardio, ② Infarctus du myocarde, ③ Métoprolol tartrate, ④ Lisinopril, ⑤ Rythme cardiaque, ⑥ Pontage coronarien et ⑦ Angioplastie coronaire.

Ce premier prototype n'a pas donné lieu à de tests utilisateurs, car il a été implémenté sur les lunettes du projet eGlasses à la fin du projet. Il a permis de tester la faisabilité de la technique K-Fisheye. Il a servi de base par la suite pour le développement d'une preuve de concept auprès de neuf médecins du services de soins intensifs de l'hôpital universitaire de l'Illinois à Chicago : le prototype mCAREglass (cf. Fig. 3. 11). Les avis des médecins divergent, car certains trouvent intéressant l'accès aux informations similaires et d'autres le trouve inutile, voire contraignant car les liens sont déjà connus pour eux.

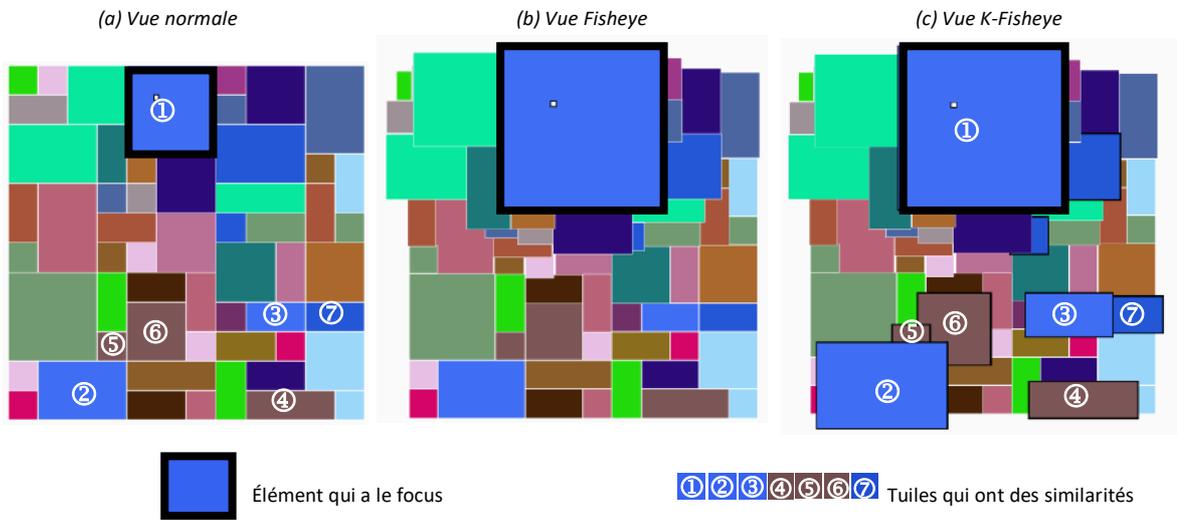


Fig. 3. 9. Interfaces à tuiles.

3.4.2. Espace de conception

Les résultats présentés dans cette partie correspondent à des travaux réalisés dans le cadre de la thèse d'Ilyasse Belkacem que j'ai co-encadrée [85] et la collaboration avec Anthony Faiola, directeur du laboratoire de sciences biomédicales et d'information de santé de l'Université de l'Illinois à Chicago. Une partie de ces travaux a été publiée [IP14][IP10][IP15][IP34].

Motivations et méthodologie

Les systèmes DPE existent, mais sont limités en termes de techniques de visualisation. Il existe des guides d'évaluation de l'utilisabilité pour aider le concepteur des systèmes DPE [87]. Ils fournissent des principes de conception adaptés à la visualisation des DPE, mais ils n'offrent pas différentes possibilités. Il existe d'autres travaux, tels que [104][105][106] qui analysent les systèmes existants et les approches développées dans la littérature. Ils se concentrent uniquement sur ce qui a déjà été développé et n'introduisent pas de nouvelles possibilités. Une solution pour améliorer la visualisation des systèmes DPE consiste à proposer un espace de conception pour aider le concepteur. Un espace de conception selon MacLean et al. [107] est un "espace de possibilités" afin de définir et de clarifier un train de pensées et d'idées. Plus qu'une simple classification ou une taxonomie, il décrit non seulement les options de conception existantes, mais également les possibilités futures [108]. De plus, son utilisation est double : il permet à la fois d'identifier les limites des applications existantes et les besoins à considérer pour concevoir de nouveaux systèmes.

Pour définir les dimensions de l'espace, nous avons abordé une analyse à trois niveaux :

- Une analyse globale pour identifier les principales dimensions. La méthode utilisée est la méthode 5W1H utilisée pour obtenir l'histoire complète sur un sujet [109]. Bien que très répandue en journalisme, elle est utilisée aussi dans d'autres domaines comme la gestion d'entreprise [110], le marketing [111] et même en visualisation [112] ou pour construire un espace de conception [108].
- Une analyse détaillée pour trouver les domaines de définition des dimensions. Nous avons analysé 54 articles traitant de la visualisation d'information et des systèmes DPE.
- Une analyse centrée utilisateurs pour mieux comprendre les attentes des principaux utilisateurs des systèmes DPE i.e. les professionnels de santé. Neuf médecins volontaires (dont une femme) du service de soins intensifs de l'hôpital universitaire de l'Illinois à Chicago ont participé à un interview.

Définition de l'espace de conception

Nous avons proposé un espace de conception composé de huit dimensions principales (cf. Tableau 5).

Tableau 5. Espace de conception pour la visualisation du dossier patient électronique.

Who? UTILISATEUR	Cible	Docteurs	Autre personnel médical	Patient	Famille du patient	Personnel administratif	
	Usage*	Individuel			Collectif		
What? DOSSIER PATIENT	Cardinalité*	Un seul patient		Plusieurs patients		Mixte	
	Dimension	1 dimension	n-dimensions	Temporelle	Arbre	Réseau	
	Type de données	Qualitative			Quantitative		
	Nombre de variables*	Peu de variables		Plusieurs variables		Toutes les variables	
	Degré	Bas			Haut		
Where? TECHNOLOGIE	Taille de l'écran	Petit			Grand		
	Nombre d'écrans*	Un seul écran			Plusieurs écrans		
	Qualité d'image	Résolution		Contraste		Luminance	
	Type de dispositif	Ordinateur de bureau	Exposé	Mobile	Vestimentaire		
Where? LOCALISATION	Chambre du patient	Salle de soins	Bureau	Autres milieux cliniques	Maison	Bâtiment public Extérieur	
When? TEMPS	Avant l'intervention		Durant l'intervention		Après l'intervention		
Why? OBJECTIF	Tâche	Explorer les données médicales	Prendre une décision	Évaluer les soins	Faire des statistiques	Faire une tâche non médicale	
	Cas d'utilisation	Épisode aigu	Traitements chroniques	Activités de prévention		Symptômes indifférenciés	
	Fonctionnalités	Contenu multimédia	Standards de code médical	Communication	Alertes et notifications	Recommandations de soins	Statistiques Outil éducatif
How? INTERACTION EN ENTREE	Canal	Audio		Visuelle		Haptique	
	Intention	Sélectionner	Explorer	Reconfigurer	Encoder	Résumer/Élaborer	Filtrer Connecter
How? VISUALISATION	Technique*	Distorsion			Non-distorsion		
	Représentation	Tableau	Diagramme	Graphique	Frise chronologique	Carte Image	
	Variables visuelles	Position	Taille	Forme	Couleur	Transparence	Orientation Texture
	Adaptation	Présentation			Navigation		
	Sensibilité au contexte	Profil utilisateur	Dossier patient	Technologie	Localisation	Temps	Objectif
	Dimension avec plusieurs valeurs possibles	*	Dimension avec une seule valeur possible			Valeur de dimension	

Notre espace de conception permet de montrer les lacunes des systèmes existants. Beaucoup n'offrent pas toutes les possibilités proposées par les huit dimensions de l'espace. La plupart des interfaces de dossiers patients électroniques utilisent la métaphore de la frise chronologique utilisée en premier par LifeLine [113]. Les systèmes analysés ne définissaient pas de techniques spécifiques pour les dispositifs en situation de mobilité. De plus, l'adaptation et la sensibilité du contexte ne sont pas considérées.

Cas d'étude : migration de MIVA

Pour montrer le potentiel de notre espace de conception, nous avons choisi d'analyser le système MIVA [114] (cf. Fig. 3. 10) pour étudier comment l'adapter pour un usage en situation de mobilité avec des lunettes électroniques. Ce travail est le fruit de la collaboration avec l'un des auteurs de MIVA, le professeur Faiola. Le nouveau système s'appelle mCareGlass.



Fig. 3. 10. L'interface principale de MIVA.

Le système MIVA a été instancié dans notre espace (cf. cases vertes Tableau 6). Il est destiné à l'ensemble des docteurs qui interviennent dans le processus de soins d'un patient au service des soins intensifs : pneumologue, radiologue, gastro-entérologue, etc. (UTILISATEUR – cible). Plusieurs utilisateurs peuvent l'utiliser de façon individuelle (UTILISATEUR – usage), mais sans adaptation (VISUALISATION – sensibilité au contexte). Un seul dossier est affiché à la fois (DOSSIER PATIENT – cardinalité) et donne accès à plusieurs informations médicales et des informations temporelles comme les signes vitaux (DOSSIER PATIENT – Dimension). Les données peuvent être qualitatives ou quantitatives (DOSSIER PATIENT – type de données). Le système affiche plusieurs variables qui peuvent être utiles dans le cadre des soins intensifs (DOSSIER PATIENT – nombre de variable). L'interface propose différents niveaux d'information selon le détail demandé (DOSSIER PATIENT – degré). Les docteurs utilisent des tablettes pour interagir avec MIVA (TECHNOLOGIE – type de dispositif, INTERACTION EN ENTRÉE – canal) avec un seul grand écran (TECHNOLOGIE – taille de l'écran, nombre d'écrans). Ainsi ils peuvent accéder au système à tout moment (TEMPS) et dans différents endroits : la chambre de patient lors des tournées, la salle des soins, le bureau du docteur ou d'autres milieux cliniques (LOCALISATION). Le système aide les docteurs du service des soins intensifs à explorer les données médicales, prendre des décisions et évaluer les soins (OBJECTIF – Tâche). Il est utilisé dans le service des soins intensifs où les patients sont dans une période sensible à risques (OBJECTIF – cas d'utilisation) et nécessite un suivi. Le système offre la fonctionnalité des alertes et de notifications (OBJECTIF – Fonctionnalités). Il permet à l'utilisateur de sélectionner, explorer, reconfigurer, résumer et élaborer (INTERACTION EN ENTRÉE – intention). L'affichage utilise les techniques de non distorsion incluant le fenêtrage, la barre de défilement (VISUALISATION – technique). Il combine les graphiques et la chronologie pour afficher les signes vitaux en temps réel et un tableau est utilisé pour afficher les données qualitatives contenues dans le dossier (VISUALISATION – représentation). La position et la taille sont utilisées pour ordonner les informations dans un ordre chronologique et la couleur pour mettre en évidence les valeurs critiques des signes vitaux (VISUALISATION – variables visuelles).

Tableau 6. MIVA dans l'espace de conception et son adaptation mCareGlass.

Who? UTILISATEUR	Cible	Docteurs	Autre personnel médical	Patient	Famille du patient	Personnel administratif		
	Usage*	Individuel			Collectif			
What? DOSSIER PATIENT	Cardinalité*	Un seul patient		Plusieurs patients		Mixte		
	Dimension	1 dimension	n-dimensions	Temporelle	Arbre	Réseau		
	Type de données	Qualitative			Quantitative			
	Nombre de variables*	Peu de variables		Plusieurs variables		Toutes les variables		
	Degré	Bas			Haut			
Where? TECHNOLOGIE	Taille de l'écran	Petit			Grand			
	Nombre d'écrans*	Un seul écran			Plusieurs écrans			
	Qualité d'image	Résolution		Contraste		Luminance		
	Type de dispositif	Ordinateur de bureau	Exposé		Mobile		Vestimentaire	
Where? LOCALISATION	Chambre du patient	Salle de soins	Bureau	Autres milieux cliniques	Maison	Bâtiment public	Extérieur	
When ? TEMPS	Avant l'intervention		Durant l'intervention		Après l'intervention			
Why? OBJECTIF	Tâche	Explorer les données médicales	Prendre une décision	Évaluer les soins	Faire des statistiques	Faire une tâche non médicale		
	Cas d'utilisation	Épisode aigu	Traitements chroniques	Activités de prévention		Symptômes indifférenciés		
	Fonctionnalités	Contenu multimédia	Standards de code médical	Communication	Alertes et notifications	Recommandations de soins	Statistiques	Outil éducatif
How? INTERACTION EN ENTREE	Canal	Audio		Visuelle		Haptique		
	Intention	Sélectionner	Explorer	Reconfigurer	Encoder	Résumer/Élaborer	Filtrer	Connecter
How? VISUALISATION	Technique*	Distorsion			Non-distorsion			
	Représentation	Tableau	Diagramme	Graphique		Frise chronologique	Carte	Image
	Variables visuelles	Position	Taille	Forme	Couleur	Transparence	Orientation	Texture
	Adaptation	Présentation			Navigation			
	Sensibilité au contexte	Profil utilisateur	Dossier patient	Technologie		Localisation	Temps	Objectif

Dimension avec plusieurs valeurs possibles

* Dimension avec une seule valeur possible

Valeur initiale pour MIVA

Valeur ajoutée pour mCareGlass

L'instanciation de MIVA dans l'espace de conception a mis en évidence quelques lacunes qui permettent d'envisager la nouvelle version mCareGlass (cf. Fig. 3. 11) :

- Les mains du docteur sont occupées par l'utilisation de MIVA, car il doit interagir sur une tablette. Il ne peut donc pas s'occuper rapidement du patient. Nous proposons comme amélioration d'utiliser un périphérique porté (TECHNOLOGIE – type de dispositif) : des lunettes électroniques. Ainsi le docteur devrait pouvoir agir plus rapidement sur le patient. Il pourra aussi interagir vocalement pour accéder aux informations de MIVA ou toujours haptiquement soit via un périphérique externe connecté aux lunettes (montre connectée par exemple), soit le contrôleur tactile fourni avec les lunettes (ou embarqué sur les lunettes, selon les modèles) (INTERACTION EN ENTRÉE – canal).
- L'attention est portée sur la tablette, ce qui ne permet pas une attention constante sur le patient. En soin intensif, il peut être vital d'être en constante observation. Dans la nouvelle version, les lunettes électroniques vont permettre d'avoir un arrière-plan transparent. De plus, le contraste de la couleur du texte sera élevé par rapport à l'environnement de l'utilisateur pour garantir la visibilité y compris dans un environnement lumineux (TECHNOLOGIE – qualité d'images – contraste et luminance).
- Les fonctionnalités proposées sont limitées. Le nouveau système devra proposer du contenu multimédia, la possibilité de communiquer avec d'autres confrères et d'accéder à des informations médicales standards (comme la norme ICD, International Classification of Diseases) (OBJECTIF – fonctionnalités).

Chapitre 3 - Techniques d'interaction pour les professionnels de santé

- Il est difficile de naviguer dans les données tant elles sont nombreuses. Sachant qu'elles peuvent être liées sémantiquement (DOSSIER PATIENT – Dimension), nous proposons d'intégrer la vue K-Fisheye pour une meilleure navigation (VISUALISATION – Technique). Elle permettra de mettre en évidence les informations pertinentes afin de minimiser les besoins en mémoire et réduire la charge de la mémoire à court et à long terme. Il a été démontré que les médecins ne capturent pas systématiquement des interactions médicamenteuses potentielles, même lorsque les antécédents médicamenteux sont faciles à détecter [115]. La vue K-fisheye permet d'inclure plusieurs représentations (VISUALISATION – représentation) : graphique, tableau, image.
- MIVA ne propose aucune adaptation ni de sensibilité au contexte. Nous proposons de le rendre adaptatif en présentation et navigation (VISUALISATION – adaptation). Pour la présentation, il prend deux facteurs contextuels en considération : l'utilisateur et le dossier patient (VISUALISATION – sensibilité au contexte). L'utilisateur peut sélectionner son profil pour voir les informations liées à sa spécialité dans la vue K-Fisheye. La vue K-Fisheye s'adapte également à chaque dossier patient. Pour la navigation, mCAREglass permet de naviguer dans le dossier patient de plusieurs manières selon le contexte (par exemple, mains libres ou non) : avec des commandes vocales, en utilisant le trackpad des lunettes ou une montre connectée.

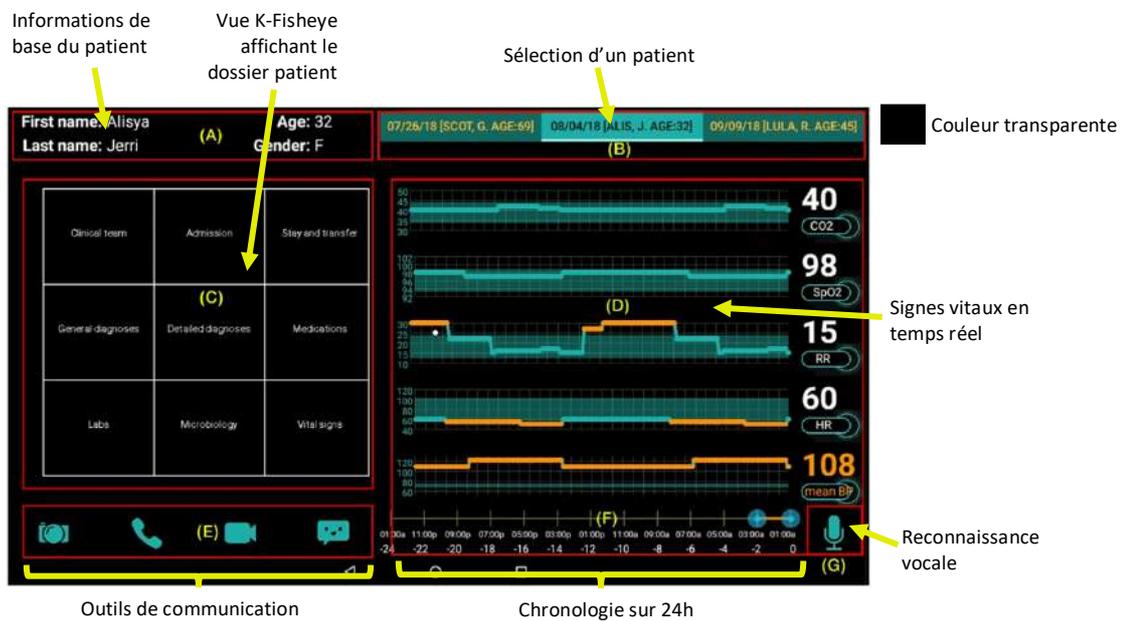


Fig. 3. 11. L'interface principale de mCAREglass.

Un prototype a été développé, puis testé avec neuf médecins (dont une femme) du service des soins intensifs de l'hôpital universitaire de l'Illinois de Chicago. Ils devaient consulter l'état de santé de patients avec mCareglass en navigant dans la vue K-Fisheye avec le contrôleur tactile connecté aux lunettes et en utilisant la reconnaissance vocale, le tout en suivant trois scénarios cliniques :

- Scénario n ° 1 : un homme de 56 ans est admis aux soins intensifs à 17 heures pour une douleur à la poitrine afin d'éliminer un infarctus du myocarde. Il a des antécédents d'hypercholestérolémie et d'hypertension et fume un paquet de cigarettes par jour. Son rythme cardiaque et sa pression artérielle sont élevés.
- Scénario n ° 2 : une femme de 28 ans est admise aux soins intensifs après un accident de la route et une blessure à la tête. Elle n'a pas d'antécédents médicaux. Son rythme cardiaque a chuté et sa tension artérielle est élevée.
- Scénario n ° 3 : une femme de 44 ans est admise aux soins intensifs en détresse respiratoire aiguë avec saignements gastro-intestinaux supérieurs et inférieurs. Ses antécédents médicaux sont significatifs pour une maladie du foie en phase terminale due à un abus d'alcool. La patiente est intubée en réponse à l'aggravation de la détresse respiratoire.

Les participants ont rempli un questionnaire pour évaluer la charge cognitive (NASA TLX) et un questionnaire pour mesurer l'utilisabilité du système (SUS).

Les tests d'utilisabilité et les résultats des entretiens ont montré que tous les participants trouvaient que mCAREglass avait un potentiel considérable pour améliorer le travail clinique au service des soins intensifs. Ils ont convenu que pour optimiser le flux de travail clinique, l'outil doit être bien intégré dans le travail quotidien, dans le cadre de la prise de décision et de l'observation du patient. Les participants n'ont pas été gênés par une quelconque augmentation de la charge cognitive. Ils ont surtout apprécié que l'outil présente toute une gamme de possibilités nouvelles pour améliorer la sécurité des patients et la qualité des soins. Les résultats indiquent également que mCAREglass a le potentiel de fournir plus qu'un simple accès mobile aux signes vitaux et aux données du patient à la volée : il pourrait également promouvoir de nouvelles façons d'interagir avec d'autres praticiens (à distance et en face à face) au sein de l'hôpital pour les aider dans leur prise de décision du diagnostic.

3.4.3. Techniques de pointage

Les résultats présentés dans cette partie correspondent à des travaux réalisés après le projet eGlasses dans le cadre de la thèse d'Ilyasse Belkacem que j'ai co-encadrée [85]. Ce travail a été récemment accepté [IP11].

3.4.3.1. Motivations

Lors des tests de la technique K-Fisheye, l'utilisateur utilisait le contrôleur tactile connecté aux lunettes pour déplacer le curseur dans l'espace de données. Plus généralement, il était aussi utilisé dans mCareGlass pour désigner les commandes à effectuer (changer de dossier patient, communiquer avec un confrère, afficher du contenu multimédia, etc.). Dans le contexte médical, encombrer les mains du praticien avec un contrôleur n'est pas toujours acceptable. Il doit pouvoir rapidement utiliser ses mains pour les actes médicaux sur le patient. De plus, dans certains services comme le service des urgences, utiliser un dispositif pose déjà des problèmes d'hygiène et le médecin doit souvent interagir vite. Il apparaît important de fournir des techniques de pointage mieux appropriées à ce contexte hospitalier. Tung et al. [116] ont identifié trois groupes de techniques d'interaction pour le pointage :

- Dispositif portable, qui désigne les techniques utilisant un dispositif que l'utilisateur doit tenir dans sa main.
- Tactile, qui désigne les techniques utilisant des dispositifs portés ou des surfaces sur le corps de l'utilisateur.
- Non tactile, qui désigne des techniques n'utilisant pas de surface.

Nous avons choisi d'utiliser le premier groupe comme référence pour notre étude puisqu'il s'agit d'une manière courante d'interagir sur les appareils mobiles et également disponible avec certaines lunettes électroniques. Notre étude s'intéresse au troisième groupe, car il a l'avantage de ne pas ajouter un autre dispositif susceptible de compliquer les interactions dans un contexte de mobilité.

Dans la littérature, les travaux traitent du mouvement de la tête en absolu (chaque orientation correspond aux mêmes coordonnées du pointeur), pas du mouvement en relatif. Il apparaît intéressant de pouvoir comparer les deux approches. Concernant le mouvement en absolu, les tâches sont variées : dessiner la scène dans l'environnement virtuel [117], s'authentifier en effectuant des gestes [118], contrôler les quatre mouvements (haut, bas, gauche, droite) pour diriger le jeu de Pac-Man [119], saisir des caractères [120], naviguer dans la scène ou manipuler des objets [121]. Il existe deux technologies : soit une caméra avec un système de suivi du visage [122][123][124][125][126], soit un ou plusieurs capteurs de position embarqués sur la tête [117][119][120]. La technique avec la caméra est plus adaptée dans un contexte de type bureau qu'en situation de mobilité. L'utilisation de capteurs semble plus adaptée avec des lunettes électroniques puisque les capteurs sont embarqués sur le dispositif et l'utilisateur peut changer d'environnement sans avoir à déplacer de caméra. Plusieurs travaux évaluent le pointage avec le mouvement de la tête en absolu pour des lunettes électroniques [127][128][129] ou pour un casque de réalité virtuelle [130] : les résultats sont différents et difficilement comparables car le contexte est différent. Jalaliniya et al. [128] compare trois techniques (souris, mouvement des yeux et mouvement de la tête) dans un environnement de réalité augmentée avec les lunettes électroniques : le pointage avec le mouvement des yeux est plus rapide, mais moins précis qu'avec le mouvement de la tête. À l'inverse, dans un environnement de réalité virtuelle, Qian et al. [130] trouvent que le mouvement de la tête est préférable à celui des yeux. En conséquence, certains ont choisi de combiner les deux méthodes [127][129]. Même si les résultats sont intéressants avec cette combinaison, l'utilisateur devrait garder ses yeux longtemps sur la cible pour la valider. Dans le contexte médical, le médecin perdrait trop longtemps le contact avec son patient. C'est pourquoi nous avons exclu cette technique d'interaction dans notre étude.

L'interaction à main libre en absolu est une autre technique intéressante utilisée principalement pour interagir avec des objets physiques ou virtuels dans des contextes de réalité augmentée, mixte ou virtuel [131][132][132][133]. Aucun

travail n'évalue les performances de pointage sur une interface 2D avec des lunettes électronique. Pour capturer les mouvements de la main, des caméras RGB [134][135][136], des caméras infrarouges [137] ou de profondeur [138] sont proposées. D'autres dispositifs peuvent être utilisés : CyclopsRing [139] propose par exemple un dispositif à base d'anneaux. À l'exception des travaux de Bailly et al. [138], les taux d'erreurs en terme de précision restent importants.

3.4.3.2. Présentation des techniques de pointage étudiées

Surface Tactile (ST)

Il s'agit de notre technique de référence. L'utilisateur dirige le curseur en déplaçant son doigt sur une surface tactile sur un contrôleur connecté à des lunettes électroniques (cf. Fig. 3. 12). La position du curseur est relative. Plus la vitesse du doigt est grande, plus le mouvement du curseur est grand.



Fig. 3. 12. Exemple de surface tactile connecté à des lunettes électroniques.

Techniques utilisant le mouvement de la tête

Avec ce type de technique, l'utilisateur contrôle le déplacement d'un curseur affiché sur l'écran des lunettes par deux types de mouvement de la tête (cf. Fig. 3. 13) :

- Un mouvement haut/bas correspondant à θ_y , la rotation autour de l'axe des y pour déplacer le curseur verticalement.
- Un mouvement gauche/droite correspondant à θ_z la rotation autour de l'axe des z pour déplacer le curseur horizontalement.

La position initiale du curseur est au centre de l'écran des lunettes et correspond à la position neutre de la tête (cf. Fig. 3. 13). Pour changer la position neutre de la tête, il suffit d'utiliser une fonction de calibrage.

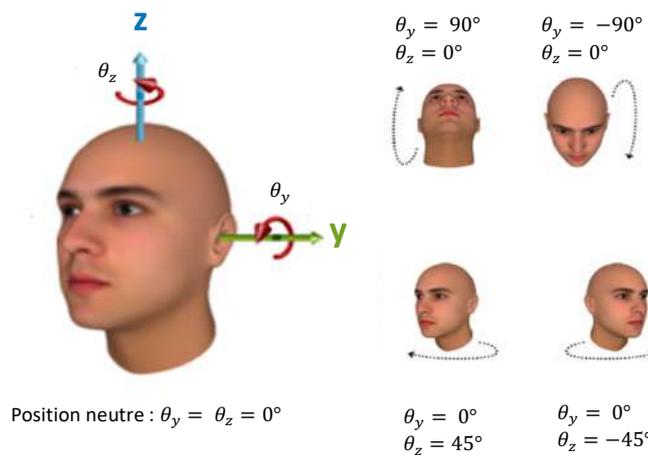


Fig. 3. 13. Les deux rotations prises en compte pour le mouvement de la tête [140].

Nous avons défini deux types de contrôle du déplacement du curseur : absolu et relatif.

Définition 24 Le *Mouvement Absolu de la Tête (MAT)* déplace le curseur en absolu selon les deux directions définies précédemment (horizontalement et verticalement). Quelle que soit la vitesse de mouvement de tête, le curseur se déplacera toujours à la même position.

En d'autres termes, une rotation de la tête correspond toujours à la même position du curseur. Les rotations maximales (θ_y, θ_z) pour arriver à l'extrémité de l'écran sont des paramètres à fixer selon la technologie utilisée et le contexte d'usage.

Définition 25 Le *Mouvement Relatif de la Tête (MRT)* déplace le curseur en fonction de sa vitesse angulaire ω en *rad/s*. Plus la vitesse est grande, plus le déplacement du curseur est grand.

En d'autres termes, une rotation de la tête ne correspond pas toujours à la même position du curseur. Si l'utilisateur n'arrive pas à bien contrôler la vitesse de ces mouvements, il peut y avoir une décalibration et la position neutre ne correspond plus à la position du curseur au centre de l'écran. De plus, si l'utilisateur veut changer la position initiale de sa tête, il peut calibrer le curseur et le rendre au centre en utilisant deux mouvements dans deux directions opposées avec deux vitesses différentes. Ce mécanisme est un avantage pour cette technique, car il permet de calibrer la position initiale en situation de mobilité quand le participant change souvent l'orientation initiale de sa tête. Par contre, il nécessite un temps de mouvement.

Main Libre Absolue (MLA)

Nous avons choisi de n'interpréter le mouvement de la main qu'en absolu pour différentes raisons :

- La technique de capture de la main reste encore imprécise, donc ajouter un facteur de vitesse pour rendre le mouvement relatif risque de dégrader encore plus l'interprétation.
- Occuper la main du médecin alors qu'il est avec son patient n'est pas idéal. Nous avons tout de même voulu tester le potentiel du mouvement de la main, car dans certaines situations (seul dans son bureau, dans les couloirs, etc.) le médecin pourrait utiliser ses mains pour interagir avec les lunettes.

Définition 26 La technique *Main Libre Absolue (MLA)* déplace le curseur en absolu avec son index (cf. Fig. 3. 14). L'utilisateur doit placer la main dans une zone proche des lunettes électroniques. La position de l'index est capturée par une caméra de profondeur embarquée sur les lunettes et traduite après par une position du curseur sur l'écran.

Le mouvement est absolu ce qui veut dire qu'une position concrète de l'index dans le monde réel correspond toujours aux mêmes coordonnées de curseur sur l'écran.

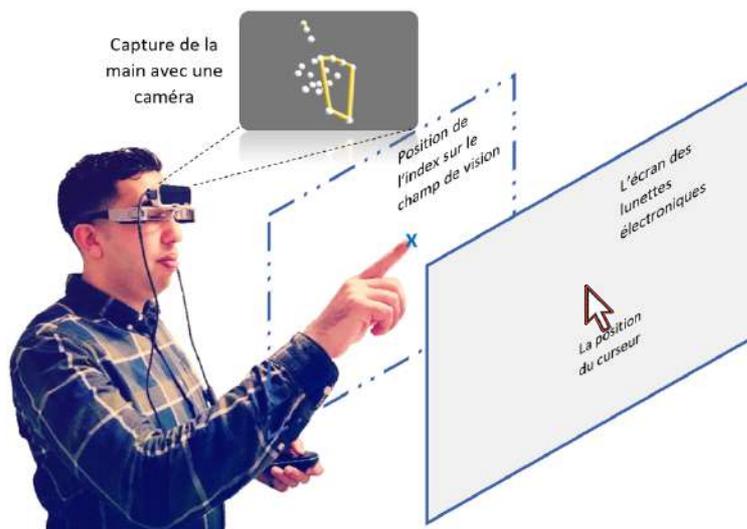


Fig. 3. 14. La technique Main Libre Absolue.

3.4.3.3. Expérimentation

Une étude expérimentale a été menée pour comparer en termes de performance et de confort les quatre techniques de déplacement de curseur sur les lunettes électroniques (ST, MAT, MRT et MLA) pour réaliser une tâche de pointage. Pour ce premier test, nous avons choisi un contexte non mobile : le médecin est assis dans son bureau au début de la consultation avec un patient.

Les participants effectuent deux sessions de tests séparées de 24h à 72h maximum. Dans une session, pour chaque technique de pointage, les participants doivent réaliser deux blocs de quatre séquences ou tâche de pointage multidirectionnelle de la norme ISO 9241-9 à 9 cibles (sélection et de validation) avec un indice de difficulté croissant (cf. Fig. 3. 15). Le curseur est placé au départ au centre du cercle. Un disque devient une cible lorsqu'il devient rouge. La tâche de pointage se termine par la validation de la sélection de la dernière cible. Quand la cible validée est correcte, elle devient verte, sinon elle devient orange pour indiquer une erreur.

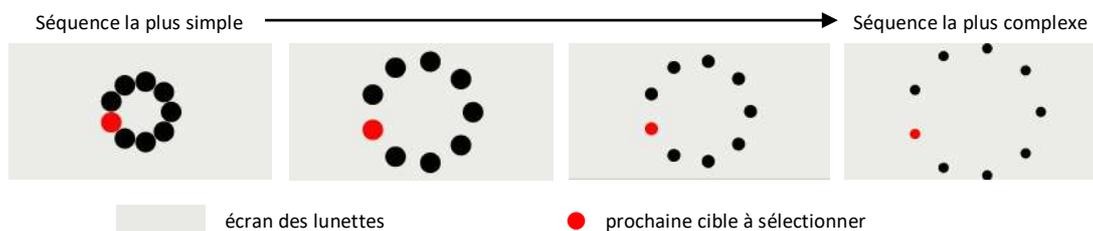


Fig. 3. 15. Tâche de pointage à 9 cibles : les quatre niveaux de difficultés testés.

Les participants sont répartis dans quatre groupes différents pour chaque session. Le groupe détermine l'ordre des techniques testées. Avant la première session, les participants testent les quatre techniques en sélectionnant huit cibles disposées en losange. À la fin de la seconde session, ils doivent remplir plusieurs questionnaires pour :

- Classer les techniques par ordre de préférence.
- Mesurer l'utilisabilité de chaque technique (questionnaire SUS).
- Mesurer la charge mentale et physique, le confort, la rapidité, la précision et la convivialité de chaque technique (questionnaire ISO 9241-9).

Le matériel

L'expérimentation a été réalisée en utilisant des lunettes électroniques Epson Moverio BT300 (cf. Fig. 3. 12). Ce modèle offre une très bonne qualité d'image avec son écran OLED et un affichage d'une résolution de 1280x720 pixels. L'écran des lunettes est équivalent à un écran de 80 pouces à 5 mètres. Son contrôleur avec surface tactile a été utilisé pour la technique de référence ST et pour lancer un recalibrage via le bouton du contrôleur. Pour les deux techniques de mouvements de tête MAT et MRT, les capteurs des lunettes sont utilisés pour calculer l'angle de rotation de la tête et la vitesse angulaire. Un seuil de 0.04 rad/s est appliqué afin de rejeter les mesures inférieures à ce niveau, considérées comme du bruit. Pour la technique MAT, nous avons fixé les rotations maximales pour arriver à l'extrémité de l'écran à : $\theta_{zmax} = \pm 20^\circ$ et $\theta_{ymax} = \pm 10^\circ$. Pour la technique MLA, nous avons fixé sur la bordure supérieure des lunettes une caméra de profondeur Fingo⁴. Elle permet de détecter la main dans le champ de vision des yeux. La main doit être à environ 45 cm de la caméra pour des performances optimales.

Les participants

Dix-huit participants (dont six femmes) ont été recrutés parmi des étudiants de l'Université de Lorraine. Leur âge variait de 20 à 30 ans. Tous les participants étaient des utilisateurs quotidiens d'ordinateurs et familiarisés avec la manipulation de la souris. Sept participants utilisent quotidiennement une surface tactile, cinq l'utilisent souvent, six rarement. Seulement deux participants avaient déjà utilisé le mouvement de la tête pour contrôler un jeu. Cinq participants avaient utilisé une caméra de profondeur, mais pas de manière régulière. Aucun participant ne porte de lunettes de vue et les lunettes électroniques étaient un dispositif nouveau pour tous.

Résultats

Je ne vais pas décrire en détail les résultats qui sont parfaitement expliqués dans la thèse d'Ilyasse Belkacem [85], mais voici les principales conclusions :

⁴ <https://www.usens.com/fingo>

- Il y a un effet d'apprentissage entre la première et la deuxième session. Ce résultat était attendu car les participants ont découvert la tâche de pointage pour la première fois et n'ont jamais utilisé des lunettes électroniques. Le temps de mouvement augmente linéairement avec l'indice de difficulté pour les quatre techniques.
- Sur l'ensemble des mesures les techniques ST et MAT sont les plus performantes.
- Pour toutes les techniques, il n'y a pas de différence significative entre la première session et la deuxième session pour le taux d'erreurs. La vitesse des participants n'a pas augmenté au détriment des erreurs. Le taux d'erreur est corrélé à la largeur de la cible. Le taux d'erreur le plus élevé est pour la plus petite cible et diminue progressivement à mesure que la taille de la cible augmente.
- Pour la technique de MLA, les participants étaient rapides mais beaucoup moins précis que les autres techniques spécialement pour les petites cibles, ce qui pénalise cette technique pour la précision. Nous soulignons aussi que pour cette technique, il existe un grand écart entre les participants par rapport aux autres techniques. Ces résultats peuvent être expliqués car certains participants étaient plus performants que d'autres.
- Les résultats du questionnaire SUS corrélaient les résultats des mesures. Ils indiquent une meilleure utilisabilité pour les techniques ST et MAT suivies par la technique MRT puis la technique MLA. La technique MAT est perçue très utilisable par les participants malgré le fait qu'elle leur soit moins familière que la technique ST. Aussi, les participants préféreraient la technique MAT au détriment de ST, ce qui est encourageant pour le contexte hospitalier dans lequel il est préférable que les mains ne soient pas occupées.
- Pour le questionnaire ISO 9241-9 la technique MLA est mal évaluée par rapport aux autres techniques pour toutes les questions sauf la question de l'effort mental. Elle a provoqué des douleurs au bras à la fin de l'expérimentation. Les participants l'ont trouvée inconfortable et imprécise, ce qui confirme les données mesurées.
- La technique MRT a la plus mauvaise notation pour l'effort mental. Les participants indiquaient qu'il est parfois même difficile de contrôler le curseur avec la position de la tête pour cette technique.

3.4.4. Technique d'entrée de texte TEXTile

Les résultats présentés dans cette partie correspondent à des travaux réalisés après le projet eGlasses dans le cadre de la thèse d'Ilyasse Belkacem que j'ai co-encadrée [85]. Ce travail a été accepté dans une conférence [IP12].

3.4.4.1. Motivations

Les lunettes électroniques ne sont pas destinées uniquement à consulter des données. Les entretiens avec les médecins du service des soins intensifs de l'hôpital universitaire de l'Illinois à Chicago ont suggéré d'utiliser les lunettes électroniques pour mettre à jour des informations dans le dossier du patient, prendre des notes ou communiquer avec l'équipe médicale en envoyant des messages. Ils ont insisté sur le fait que le texte devait être très court : ils sont dans un contexte mobile, doivent rester attentifs à leurs patients et pouvoir réagir vite en fonction de l'état de santé des patients. Dans ce contexte, l'utilisateur ne peut pas regarder un autre dispositif pour saisir du texte, ce qui exclut plusieurs techniques d'entrée de texte courantes utilisées dans le cadre des ordinateurs de bureau ou dispositifs mobiles. Au lancement des premières lunettes électroniques commerciales, la technique d'entrée de texte principale utilisait la reconnaissance vocale. Cette technique est inappropriée dans les environnements partagés parfois bruyants [141] et n'est pas appréciée par les utilisateurs dans les endroits publics [118] : elle pose des problèmes de fiabilité et de confidentialité en situation de mobilité. Il existe un fort besoin de développer des techniques d'entrée de texte pour les lunettes électroniques plutôt que d'adapter celles qui sont déjà disponibles [142].

Techniques d'entrée de texte pour des lunettes électroniques

L'un de nos critères essentiels est de pouvoir saisir du texte sans nécessiter de regarder le dispositif d'entrée : on parle de technique à yeux libres [143]. Certaines techniques comme PalmType [144], HoloBoard [144] ou DigitTap [145] utilisent la main ou une partie (paume, doigts) pour naviguer sur un clavier virtuel ou définir un langage, mais elles nécessitent un système de localisation qui n'est pour le moment pas fiable. D'autres techniques utilisent en plus de la main ou des doigts des dispositifs supplémentaires portés pour renforcer la localisation : une chaîne connectée entre le poignet et un anneau sur le doigt [146], un gant de données [147][148][149][150], une bague [151] ou même un dispositif monté sur les ongles [152]. Dans le milieu hospitalier, le médecin devra retirer ces dispositifs dès qu'il voudra pratiquer un acte médical, ce qui sera trop contraignant.

D'autres techniques ont recours à la surface tactile 2D intégrée aux lunettes [153][154] : l'utilisateur doit soulever et maintenir son bras à côté de son visage pour interagir, ce qui peut entraîner de la fatigue. Des techniques d'entrée de texte classique à base de gestes sur surfaces tactiles telles que EdgeWrite [155], Graffiti [156] ou Escape-Keyboard [157] sont intéressantes mais posent le problème de la surface elle-même qui ne doit pas être un dispositif encombrant.

Chapitre 3 - Techniques d'interaction pour les professionnels de santé

L'écriture avec des gestes en l'air peut également présenter un certain potentiel pour les lunettes électroniques. Un capteur capte le geste et l'utilisateur peut effectuer un geste associé à un caractère comme dans Airwriting [158] et Airstroke [159]. Cette technique est également limitée par certains facteurs humains, car elle provoque une fatigue dans les bras [160] et demande aux utilisateurs de faire des gestes publiquement devant le visage, ce qu'ils n'apprécient pas [161].

3.4.4.2. Définition de la technique d'interaction TEXTile

Au-delà du dispositif de saisie qui ne doit pas encombrer le médecin, le langage pour saisir le texte ne doit pas être complexe. Comme les messages qu'il doit écrire seront courts, il ne pourra pas devenir expert rapidement dans la technique de saisie. Il doit disposer d'une technique d'entrée de texte :

- Simple à utiliser.
- Sans dispositif à tenir dans les mains ou qui encombre ses mains et l'empêche de reprendre rapidement un acte médical.
- Qui ne nécessite pas de détourner son regard du patient.
- Qui reste discrète dans son utilisation pour ne pas perturber la communication avec le patient.

Définition 27 Une combinaison c est définie par quatre valeurs $d_1d_2d_3d_4$ représentant l'état de chaque doigt d_i :

$$d_i = \begin{cases} 0, & \text{si le doigt } n^{\circ}i \text{ est levé} \\ 1, & \text{si le doigt } n^{\circ}i \text{ est posé} \end{cases} \quad \text{index} = 1 \leq i \leq 4 = \text{auriculaire}$$

Définition 28 TEXTile est une technique d'entrée de texte définie par le couple $\langle d, l \rangle$ où d est un tissu tactile multipoints de contact et l un langage défini par une suite de combinaisons c de quatre doigts levés et posés sur le tissu parmi les doigts : index, majeur, annulaire et auriculaire.

Le dispositif d doit juste être capable de détecter un nombre de contacts simultanés pour savoir combien de doigts sont posés sur le tissu. Ainsi, l'utilisateur n'a pas besoin de regarder le dispositif puisque la position des doigts posés n'a pas d'importance. De plus, le tissu tactile pourra être intégré à un vêtement. Comme le médecin porte une blouse à l'hôpital, il est tout à fait possible d'imaginer de la rendre connectée en ajoutant le tissu tactile sur la manche. Le médecin pourra interagir en toute discrétion et ne pas perturber la communication avec le patient. Bien que sa main soit sollicitée, elle reste libre rapidement pour lui permettre de reprendre sa tâche de consultation.

Le langage l n'inclut pas le pouce dans les combinaisons de doigts levés et posés. Il a été volontairement ignoré de par sa position trop décalée par rapport aux autres doigts. Le langage utilise donc au maximum 15 combinaisons de doigts levés possibles. Nous avons réalisé un sondage en ligne auprès de 74 personnes pour identifier les combinaisons de doigts levés et posés confortables. Les participants devaient reproduire successivement les 15 combinaisons en regardant une vidéo de démonstration et indiquer sur une échelle de Likert en 5 points le degré de confort. Au total 8 combinaisons ont été retenues :

- 3 combinaisons avec un doigt levé : 0111, 1011, 1110
- 2 avec deux doigts levés : 0011 et 1100
- 2 avec trois doigts levés : 0001, 1000
- 1 avec quatre doigts levés : 0000

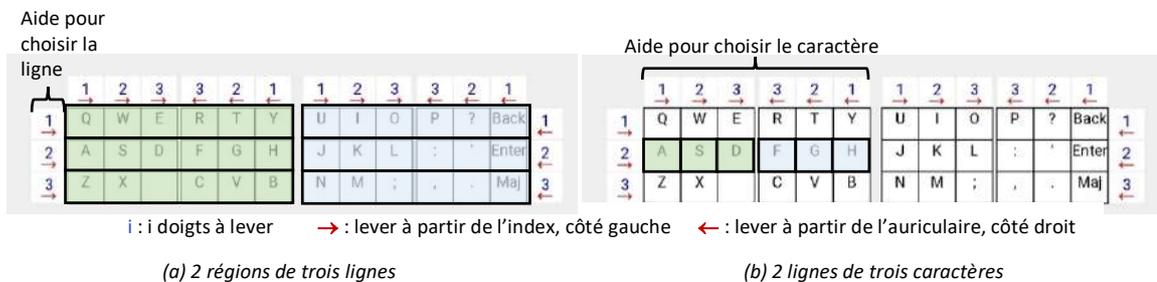


Fig. 3. 16. Clavier affiché sur les lunettes électroniques

Afin de proposer une saisie simple de caractères, nous proposons d'utiliser ces combinaisons pour accéder aux caractères d'un clavier virtuel affiché sur les lunettes. Le support visuel doit permettre à l'utilisateur de trouver la bonne suite de combinaisons pour accéder au caractère. Le clavier choisi utilise la disposition QWERTY comme avec le clavier Swipezone [154] pour être accessible à un utilisateur novice. Le clavier est divisé en deux régions de 3 lignes, ce qui donne une répartition des caractères sur 6 lignes. Chaque ligne est elle-même divisée en 2 régions de 3 caractères (cf. Fig. 3. 16). Le choix d'un caractère se fait en deux temps (cf. Fig. 3. 17) : indiquer la ligne qui contient le caractère, puis la position du caractère dans la ligne. Avant chaque sélection, il faut l'activer. Nous avons choisi d'utiliser une position neutre des doigts : 0000, i.e. les quatre doigts posés.

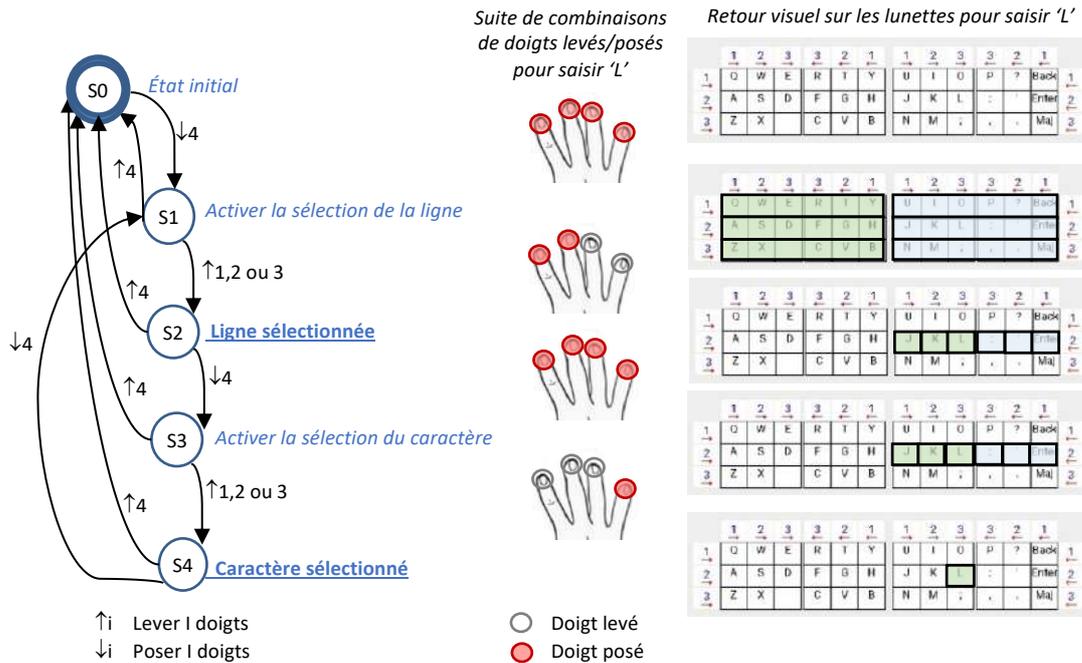


Fig. 3. 17. Le dialogue pour saisir un caractère avec TEXTile.

Afin de faciliter l'apprentissage, nous avons choisi une méthode intuitive pour arriver à la ligne ou au caractère souhaité :

- Le numéro de la ligne à sélectionner correspond au nombre de doigts à lever.
 - o Si la ligne est située sur la région de gauche (cf. Fig. 3. 16 (a) zone verte), il faudra lever les doigts en commençant par ceux de gauche (index, majeur, etc.).
 - o Si la ligne est située dans la région de droite (cf. Fig. 3. 16 (a) zone bleue), il faudra lever les doigts en commençant par ceux de droite (auriculaire, annulaire, etc.).
- Pour choisir un caractère dans la ligne choisie, il suffit de lever le nombre de doigts correspondant à sa position dans la ligne. On applique ainsi la même technique que pour la sélection de la ligne.
 - o Si le caractère est situé dans la région de gauche (cf. Fig. 3. 16 (b) zone verte), il faudra lever les doigts en commençant par ceux de gauche (index, majeur, etc.).
 - o Si le caractère est situé dans la région de droite (cf. Fig. 3. 16 (b) zone bleue), il faudra lever les doigts en commençant par ceux de droite (auriculaire, annulaire, etc.).
- Pour saisir un autre caractère il faut reposer les quatre doigts.

Pour aider l'utilisateur à se souvenir de cette technique, une aide visuelle se trouve sur le clavier : des numéros indiquent le nombre de doigts à lever et les flèches sous les numéros indiquent par quel doigt commencer (cf. Fig. 3. 16).

Chapitre 3 - Techniques d'interaction pour les professionnels de santé

Prototype pour la saisie de texte yeux libres

Beaucoup de nouveaux matériaux pour les tissus tactiles peu coûteux sont commercialisés qui peuvent aider à fabriquer un dispositif mobile invisible [162]. Plusieurs travaux de recherche [163][164] ont conçu une surface résistive sous forme d'une matrice de capteurs de pression sur le tissu. Cette technologie ne permet pas de détecter plusieurs points d'une façon efficace, ce qui limiterait les possibilités d'interaction à yeux libres. zPatch [165] combine la technologie résistive et capacitive pour fabriquer un patch afin de détecter le survol, le toucher et la pression sur son interface. Il ne permet pas d'interactions à plusieurs doigts.

Pour nos recherches, nous avons conçu un tissu tactile avec une grille capacitive qui permet la reconnaissance de plusieurs points de contact simultanés (cf. Fig. 3. 18). Il est constitué de trente-six fils conducteurs (fins, inoxydables et lavables) cousus en parallèles sur le tissu avec un espacement de 3.5 mm. Trois cartes de type « 12 Cap Touch Breakout MPR121 » [309] permettent de connecter les fils. Ces cartes permettent la détection capacitive du toucher. Elles gèrent le filtrage et elles peuvent être configurées pour plus ou moins de sensibilité. Douze fils sont connectés par carte. Les trois cartes sont branchées en série à un microcontrôleur de type Arduino FLORA. Ce microcontrôleur reçoit les changements d'états de chaque fil en provenance des trois cartes (contact ou relâchement). Le dispositif est connecté aux lunettes électroniques avec un câble OTG. Un module Bluetooth peut être intégré pour une solution sans fil. La surface tactile est encadrée par une bande rouge en plastique pour que l'utilisateur sente si ses doigts sortent de la surface sans avoir à la regarder. Le dispositif est fixé sur la manche d'une blouse blanche de laboratoire avec des boutons à pression.

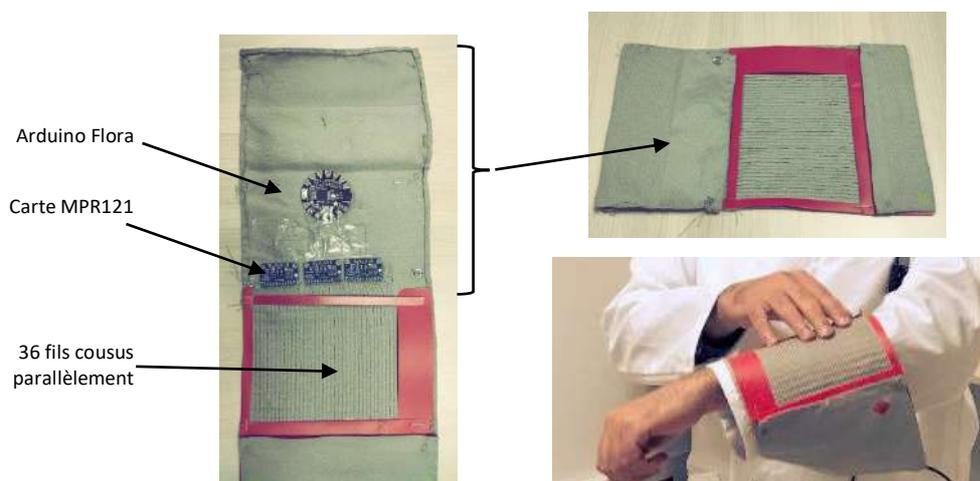


Fig. 3. 18. Prototype pour la saisie de texte yeux libres.

Des tests de fiabilité du dispositif ont été réalisés auprès de vingt participants. L'objectif était d'évaluer la performance de la détection de la position de départ (0000 i.e. 4 doigts posés) et celle du nombre de doigts levés après la position de départ. Les participants devaient reproduire une série de combinaisons affichées sur les lunettes électroniques. Les résultats des tests indiquent que le prototype est fiable à 99,20% pour la combinaison de départ et à 98,69% pour les autres combinaisons utiles pour notre techniques TEXTile.

3.4.4.3. Expérimentation

Objectif

Cette étude expérimentale a pour but d'évaluer les performances novices et la courbe d'apprentissage pour saisir du texte avec la technique TEXTile sur les lunettes électroniques.

Participants

Neuf volontaires non rémunérés (dont deux femmes) ont participé à l'expérimentation (âgés de 24 ans en moyenne, tous droitiers). Ils ont été recrutés parmi les étudiants d'informatique de l'Université de Lorraine pour une étude de cinq jours. Les participants n'ont jamais utilisé de lunettes électroniques ni de tissu tactile dans le passé. Aucun participant n'a participé à une des études précédentes que nous avons menées.

Procédure

L'expérimentation est structurée en 10 sessions divisées en cinq jours, deux fois par jour, afin d'observer la courbe d'apprentissage et les niveaux de fatigue. Chaque session a duré 12 minutes durant lesquelles l'utilisateur doit entrer de courtes phrases de texte choisies aléatoirement dans le corpus de MacKenzie et Soukoreff [166] aussi rapidement et avec le moins de fautes que possible. Pour simuler le contexte d'une consultation à l'hôpital, l'expérimentation est effectuée debout. Notre étude suit un plan intra-sujet avec une seule variable indépendante, la session. Lors de la première session et avant le début des tests, les participants lisent un document précisant l'objectif de l'expérimentation, les tâches à effectuer, les périphériques à utiliser et la technique d'entrée de texte TEXTile. Pour se familiariser avec les lunettes et la technique d'interaction TEXTile, les participants ont effectué un pré-test seulement avant la première session : saisir la phrase « hello world ».

Pendant le test, si la lettre saisie n'est pas la bonne lettre, il est possible de la corriger, mais cela demande de sélectionner la touche « Back ». C'est à l'utilisateur de faire le moins de fautes possibles tout en gardant une vitesse de saisie performante. Une phrase est validée une fois que l'utilisateur saisit la touche "Entrée".

À la fin de l'expérimentation, les participants font part de leurs commentaires et remplissent deux questionnaires : NASA-TLX pour évaluer la charge de travail perçue et SUS pour mesurer l'utilisabilité de la technique testée.

Résultats

Je ne vais pas décrire en détail les résultats qui sont parfaitement expliqués dans la thèse d'Ilyasse Belkacem [85], mais voici les principales conclusions :

- Bien que la technique TEXTile ait démarré à une vitesse relativement faible (4,76 WPM; SD 0,58), les participants ont pu apprendre la technique au fur et à mesure de la progression de l'expérimentation.
- À la fin de l'expérimentation, soit après deux heures de pratique, la vitesse d'entrée de texte a atteint 8,11 WPM (SD 0,29), ce qui est peu. Ces résultats ne sont pas surprenants, car les participants n'avaient jamais saisi du texte avec la technique TEXTile. Ils n'étaient pas non plus dans une position confortable, car ils simulaient le contexte médical en restant debout. L'expérimentation n'a pas duré suffisamment longtemps pour rendre les participants experts.
- Les participants ont réussi à saisir du texte en restant debout, ce qui est encourageant pour une application dans le contexte hospitalier.
- Le taux d'erreurs non corrigées est faible (<3%) et l'augmentation de la vitesse à travers les sessions ne se fait pas au détriment de l'erreur. Par contre, l'effort de correction reste important.
- Les résultats du questionnaire SUS ont indiqué un score de 76% pour la technique TEXTile. Cette valeur doit être considérée comme atteignant un bon niveau de satisfaction [167]. Les résultats du questionnaire NASA-TLX sont également très encourageants en l'absence de scores négatifs, tout en soulignant les exigences mentales et physiques nécessaires pour accomplir la tâche.
- Bien que la technique TEXTile soit nouvelle pour les participants, ils la trouvent utile. Les participants ont également noté qu'ils ont bien appris la technique de saisie et que leurs performances ont progressé avec le temps.

3.5. Conclusion

Les travaux présentés dans ce chapitre avaient pour but de concevoir de nouvelles techniques d'interaction sur des lunettes électronique dans le domaine de la Santé. Nous nous sommes focalisés sur un cas d'usage dans le contexte hospitalier : la manipulation du Dossier Patient Électronique (DPE) par un professionnel de santé, en particulier un médecin. Le DPE est une source d'informations utiles pour aider le médecin à établir son diagnostic et à procurer des soins plus adaptés. La difficulté majeure du DPE c'est la quantité d'informations variées plus ou moins complexes qu'il peut contenir.

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à l'accès à l'information. En partant du constat qu'il était impossible de visualiser clairement toutes les informations du DPE à la fois, nous avons proposé d'utiliser une technique d'interaction connue : la visualisation Fisheye. Cette technique permet d'avoir une vue globale sur l'ensemble des données et une vue locale agrandie d'un sous-ensemble d'informations. Dans le contexte hospitalier, en particulier dans les situations critiques (comme le service de soins intensifs), il est important que le médecin puisse accéder rapidement à toutes les informations liées au cas qu'il est en train de traiter. Afin de l'aider, nous avons proposé une extension de la technique Fisheye : la technique K-Fisheye. Elle permet de mettre en évidence dans la vue les données liées sémantiquement à celles de la vue locale. La technique s'appuie sur un modèle sémantique qui pour l'instant ne prend en compte que deux facteurs : la spécialité du praticien et le dossier patient. La technique a été développée sur

Chapitre 3 - Techniques d'interaction pour les professionnels de santé

les lunettes du projet eGlasses pour montrer son caractère opérationnel. Par contre, elle n'a pas été testée auprès d'utilisateurs, car les lunettes eGlasses n'étaient à la fin du projet pas suffisamment stables pour garantir un test dans de bonnes conditions. Par la suite, nous avons pu mettre en œuvre cette technique sur des lunettes commerciales pour une preuve de concept qui a été présentée à des médecins. Les retours sont encourageants puisque plusieurs ont trouvé intéressante la mise en évidence des liens sémantiques. Par contre, il faut optimiser le modèle sémantique et faire des tests en situation pour juger réellement de son intérêt, car d'autres médecins trouvaient les liens trop évidents pour eux. Avant d'atteindre cette étape, nous avons préféré acquérir plus de connaissances sur le contexte hospitalier et les systèmes DPE. Cette étude nous a permis de proposer un espace de conception pour les systèmes de visualisation de dossier patient. Le but de cet espace est de permettre d'analyser des systèmes existants pour les améliorer et de permettre de spécifier de nouveaux systèmes. Afin d'illustrer tout le potentiel de cet espace, nous avons analysé le système MIVA, un système de visualisation de dossiers patients au service des soins intensifs de l'hôpital universitaire de l'Illinois à Chicago. MIVA fonctionne sur une tablette ou un ordinateur de bureau. L'objectif était de le rendre utilisable avec des lunettes électroniques. Instancier MIVA dans l'espace de conception a permis de pointer les défauts du système et proposer des solutions pour le migrer vers un nouveau prototype mCareGlass utilisable avec des lunettes électroniques. Le prototype a pu être testé par plusieurs médecins du service de soins intensifs dans plusieurs scénarios. Le résultat est encourageant, car les médecins ont globalement apprécié toutes les nouveautés du système.

Dans un second temps, nous avons cherché à proposer des techniques d'interaction pour pouvoir naviguer dans le DPE et pour le modifier. Nous avons tout d'abord comparé quatre techniques de pointage : ST qui utilise la surface tactile connectée aux lunettes, MAT et MRT qui utilisent les capteurs des lunettes pour détecter le mouvement de la tête respectivement en absolu et en relatif, et MLA qui utilise une caméra de profondeur embarquée sur les lunettes pour détecter les mouvements de la main en absolu. Une étude expérimentale a permis de montrer que les techniques ST et MAT étaient les meilleures en terme de performance avec une préférence pour MAT pour les utilisateurs. C'est un point à souligner vu que dans notre cas d'usage il est préférable de ne pas encombrer les mains du médecin avec un dispositif supplémentaire. La technique MLA mériterait d'être testée dans des scénarios où la précision et l'intensité de la tâche sont moins critiques. Certains utilisateurs ont été très performants, mais d'autres vraiment beaucoup moins et la plupart ont ressenti beaucoup de fatigue. De plus, selon le rapport publié par MarketsandMarkets, l'application dans le domaine de la santé devrait devenir un marché important pour les technologies mains libres en 2022 [168]. Enfin, nous avons proposé une nouvelle technique d'entrée de texte appelée TEXTile afin de permettre aux médecins la saisie de messages courts ou la mise à jour du DPE. Cette technique utilise un tissu tactile posé sur l'avant-bras de la blouse du médecin. La technique mise en place a l'avantage de ne pas demander au médecin de tenir un périphérique dans les mains, ni d'apprendre une technique complexe, ni de détourner son attention sur le tissu pour saisir le texte. Une aide visuelle affichée sur les lunettes est présente en soutien. Des entretiens avec des médecins ont mis en évidence que l'entrée de texte ne concernerait que des messages courts. Cela signifie qu'il est presque impossible qu'ils deviennent experts et que par conséquent les résultats de TEXTile restent encourageants même si la vitesse n'est pas celle d'un expert après quelques séances. De plus, les performances n'ont cessé de s'améliorer au fil des sessions.

Chapitre 3 - Techniques d'interaction pour les professionnels de santé

Chapitre 4

Projet de recherche

4.1. Introduction

Dans ce chapitre, je vais présenter mon projet de recherche. C'est une suite plus ou moins directe des travaux menés jusqu'à présent (cf. Fig. 4. 1). Tous les travaux présentés dans les précédents chapitres peuvent donner lieu à des études plus approfondies, mais je ne présenterai ici que les projets les plus importants. Certaines recherches sont assez anciennes, comme les travaux du projet MICOLE sur les techniques d'interactions mises en place pour les enfants déficients visuels ou les travaux sur l'entrée de texte en situation dégradée pour les personnes âgées. Mon but n'est pas de les reprendre tels quels, mais plutôt d'utiliser l'expertise acquise dans ce domaine pour relancer des travaux plus ou moins liés : l'aide à l'acceptation du handicap visuel et l'étude d'interfaces adaptatives.

Les derniers travaux sur les techniques d'interaction pour les professionnels de santé ont permis de montrer un besoin dans le contexte hospitalier pour l'accès rapide aux informations liées au patient. Le verrou scientifique principal est le contexte changeant dont il faut tenir compte : les lieux d'interactions sont très variables, mais aussi les utilisateurs. Encore une fois, la notion d'interface adaptative est mise en avant. Par ailleurs, le milieu hospitalier a révélé d'autres besoins, notamment dans la rééducation des patients. Les techniques actuelles utilisées par les professionnels de Santé ne sont pas toujours efficaces. Deux projets de recherche sont ainsi prévus autour de la rééducation pour des personnes atteintes d'aphasie et pour l'éducation thérapeutique de patients atteints d'ostéoporose.

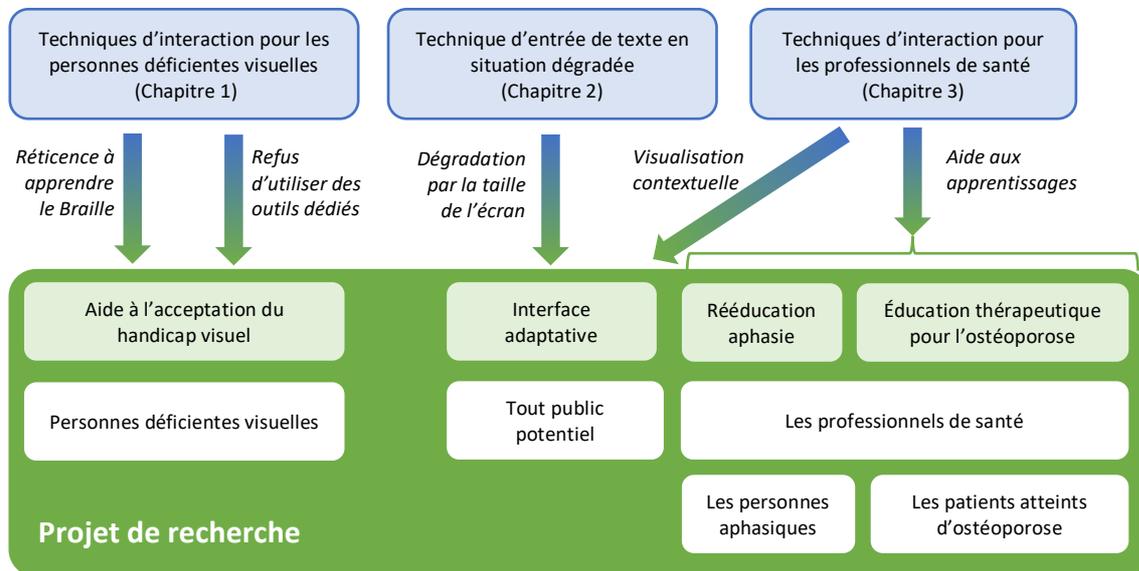


Fig. 4. 1. Les orientations prises pour mon projet de recherche.

4.2. Interface adaptative : le projet GICA

4.2.1. Motivation

Pendant le projet eGlasses, un premier travail sur l'adaptation automatique de tuiles en fonction du contexte avait été abordé. Ce travail avait donné lieu à une publication [IP17], mais n'avait pas été poursuivi, car le sujet lui-même méritait un travail plus approfondi indépendamment du contexte imposé par le projet eGlasses (la Santé). C'est ainsi que le projet GICA, Génération d'Interfaces Contextuelles Adaptatives a vu le jour. J'ai obtenu un financement pour acheter du matériel avec support d'affichage varié (petite ou grande taille) et j'ai obtenu un financement de thèse pour se consacrer à plein temps sur cette problématique. La thèse a démarré en Octobre 2018.

4.2.1. Problématique du projet GICA

Les nouveaux dispositifs sont de plus en plus connectés et donc fournissent de plus en plus d'informations. Pourtant l'espace de diffusion dont ils disposent reste limité (cf. Fig. 4. 2). D'autres contraintes s'ajoutent si on considère le contexte d'usage dans lequel l'utilisateur est souvent en situation de mobilité et soumis lui-même à différents facteurs de variabilité. D'une part, les utilisateurs sont désormais très différents les uns des autres et d'autre part, les activités qu'ils pratiquent sur leurs dispositifs mobiles sont très variables. Ainsi, proposer une interface adaptée au contexte et capable d'optimiser les fonctionnalités à proposer sur un espace réduit est un travail de recherche encore non résolu

Chapitre 4 - Projet de recherche

tant les contraintes peuvent être différentes et complexes. Le travail de recherche proposé s'inscrit dans ce contexte pertinent.



Fig. 4. 2. Nouveaux dispositifs mobiles : montres connectées, lunettes électroniques et casques de réalité mixte.

Sur les dispositifs mobiles comme les téléphones portables, on retrouve la métaphore du bureau avec une représentation des fonctionnalités sous forme d'ensembles d'icônes ou d'ensembles de tuiles. Plusieurs études ont montré que les utilisateurs préféreraient les fenêtres organisées en tuiles aux fenêtres qui se superposent [169][170]. Le travail proposé s'inscrit dans le domaine des interfaces à base de tuiles, introduites par Microsoft Windows, car ce type d'interface intègre la notion d'adaptation au contexte [171]. L'adaptation est rendue possible via les propriétés intrinsèques des tuiles qui doivent être par définition :

- Adaptables : le contenu d'une tuile peut changer en fonction de différentes situations.
- Flexibles : les tuiles peuvent contenir différents types de données (texte, graphique, informations dynamiques, etc.)
- Interconnectées : des relations peuvent être définies entre les tuiles via des méta données.
- Placées : les tuiles peuvent être placées et redimensionnées facilement afin d'optimiser la présentation de l'interface.

Dans les interfaces à base de tuiles classiques, la disposition des tuiles et leur contenu est laissé à la charge de l'utilisateur. Le travail de recherche proposé a pour objectif de soulager la tâche de l'utilisateur en permettant une répartition intelligente des tuiles par rapport à leur contenu, à l'utilisateur, à ses activités et à toute contrainte extérieure permettant de rendre l'interface adaptée. Le challenge supplémentaire est de pouvoir calculer une configuration optimale sur de petites surfaces et de pouvoir l'adapter en fonction du contexte. Pour y parvenir, l'idée est de considérer le problème sous un autre angle et de le voir comme un problème d'Informatique Décisionnel.

4.2.2. Point de vue de l'Informatique Décisionnel

L'interface se compose d'un pavage de l'espace d'affichage à l'aide d'entités rectangulaires (menus) qui remplacent les icônes pour lancer les programmes mais aussi pour l'affichage d'informations diverses. La taille des menus peut être paramétrée par l'utilisateur. Dans ce projet nous désirons proposer la possibilité de faire varier cette taille de manière dynamique en fonction de contextes variés (dépendant ou non de l'utilisateur). L'entrée est constituée d'une liste de rectangles d'importance différente (un rectangle représente un menu). L'interface produite est le résultat du placement de ces rectangles sur la surface d'affichage en fonction des contraintes exprimées. Ces contraintes peuvent être sous forme d'importance, de positionnement souhaité, de groupement souhaité, etc. Du côté de l'Informatique Décisionnelle, la version standard avec des rectangles à des dimensions fixées appartient déjà à la classe des problèmes NP-difficiles. Il existe plusieurs publications relatives au problème standard avec des algorithmes approchés ou exacts de bonne performance. Par conséquent, l'indéterminisme au niveau des dimensions représente une variable de décision supplémentaire engendrant plus de complexité au problème. De plus, la prise en compte d'autres contraintes de bon sens liées à des précédences souhaitées au niveau de l'affichage des menus ne peut qu'augmenter la complexité du problème. Le sujet comporte des aspects IHM importants à considérer, notamment la prise en compte de contextes variables plus ou moins dépendants de l'utilisateur, la simulation et mise en œuvre des algorithmes conçus sur des interfaces réelles, et enfin la validation par des tests utilisateur de la visualisation produite en situation d'interactions.

Le travail demandé dans le cadre de ce projet comportera la recherche bibliographique rigoureuse autour de ces problématiques scientifiques et la conduite d'une réflexion approfondie sur la conception d'approches originales pour résoudre cette nouvelle famille du problème de placement en deux dimensions. Le travail devrait être validé par l'élaboration d'interfaces graphiques permettant la simulation et la visualisation des menus en question. Au niveau méthodologique, on pourra indifféremment adopter les approches heuristiques (algorithmes à garantie de performance, recherche locale, heuristiques constructives, etc.) ou bien exactes (méthodes arborescentes et/ou de recherche implicite).

L'une des premières questions sera donc de concevoir, d'analyser et d'implanter des heuristiques. Leurs résultats seront évalués selon deux approches. Tout d'abord, ils seront comparés à ceux de méta-heuristiques (par exemple, les algorithmes génétiques) adaptées au problème. L'inconvénient de cette première approche réside dans son aspect empirique. La deuxième approche, quant à elle, consiste à étudier analytiquement les propriétés des algorithmes heuristiques et à en comparer les résultats avec les performances optimales à l'aide des bornes élaborées en l'absence d'information a priori [172]. Il s'agit de l'approche d'approximation polynomiale se basant sur l'analyse au pire cas des algorithmes pour garantir des ratios de performance. Certains nouveaux concepts comme l'approximation différentielle seront également envisagés [173].

Par ailleurs, l'étude des méthodes exactes sera également envisagée pour deux raisons. La première est que les méthodes exactes permettent de générer ensuite des schémas d'approximation en concevant des simplifications systématiques de telles méthodes. À titre d'exemple, la conception des meilleurs FPTAS (Fully Polynomial Time Approximation Scheme) a été obtenue par simplification des algorithmes de programmation dynamique (voir par exemple Kacem et Kellerer [174]). La deuxième raison est pratique. En effet, plusieurs variantes de méthodes exactes sont complémentaires aux méthodes heuristiques et permettent d'améliorer les résultats si la conception est judicieuse [175]. On peut citer les méthodes d'exploration implicite (branch-and-bound, branch-and-cut, branch-and-price...). La plupart consistent à réduire la résolution à une arborescence en se basant sur un schéma de séparation (branchement) et sur des bornes et coupes visant à réduire l'exploration des branches inutiles, comme dans la programmation linéaire en nombres entiers par exemple.

4.2.3. Résultats attendus

À l'issue de ce travail théorique, le résultat attendu est un module capable d'effectuer un placement dynamique de tuiles à partir d'un ensemble de contraintes issues d'un contexte variable, résultat des activités de l'utilisateur. Une première ébauche de ce concept a émergé lors du projet eGlasses. Dans ce projet, l'utilisateur interagit avec des lunettes électroniques en situation de mobilité ou non dans un contexte hospitalier. Ses activités sont variées, mais l'interaction possible sur les lunettes électroniques est limitée. Ainsi, le système ne peut proposer toute la panoplie des fonctionnalités possibles pour le personnel hospitalier (accès au dossier du patient, relevé de mesures biologiques, accès à divers plannings, accès à des documentations médicales, etc.). Le système doit sans cesse en fonction de l'activité et de l'utilisateur proposer l'interface la plus adaptée i.e. l'accès à l'ensemble des fonctionnalités les plus utiles à un instant t.

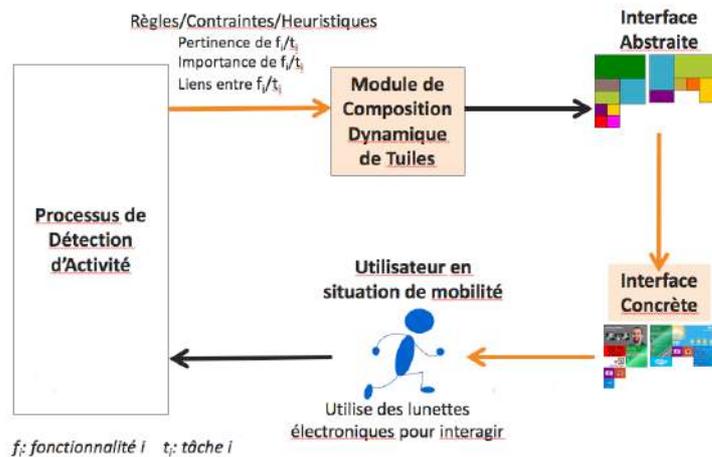


Fig. 4. 3. Processus de génération d'une interface à base de tuiles à partir d'un contexte variable dans lequel l'utilisateur est immergé.

La figure ci-dessus illustre la démarche globale à adopter. Une preuve de concept a été réalisée dans le cadre du projet eGlasses [IP17] et a montré qu'il était possible de trouver une répartition de tuiles répondant à un ensemble de contraintes, mais pour l'instant bien délimitées. Dans le cadre du projet, la problématique IHM devra être plus poussée, car elle devra intégrer un ensemble beaucoup plus complexe de contraintes et notamment le fait que l'utilisateur pourra être en situation de mobilité, qu'il utilisera des périphériques à base de petits écrans rendant difficile l'accès aux fonctionnalités. L'étude portera aussi sur les critères de choix des différentes interfaces générées, car il est fort possible que plusieurs solutions au problème de génération soient trouvées. De nombreux tests utilisateurs devront

Chapitre 4 - Projet de recherche

être menés pour également valider les solutions à travers les utilisateurs. En effet, une interface générée répondant aux contraintes peut tout à fait ne pas satisfaire un utilisateur. Il faudra pouvoir comprendre à travers les tests utilisateurs ce qui ne convient pas et ce qui convient. Le but est ensuite d'essayer d'injecter de nouvelles règles pour améliorer les algorithmes.

Au-delà du domaine d'interfaces à base de tuiles et l'organisation des icônes d'application sur un bureau, de nombreux domaines de l'IHM peuvent servir d'application : organisation des fenêtres de bureaux, optimisation d'un clavier logiciel en taille et en placement [176], visualisation d'information avec prise en compte de son importance contextuelle [IP16]. Ainsi, le travail proposé devra permettre de valider l'approche proposée dans différents domaines de l'IHM afin de varier les contextes. Une piste pouvant mener à des collaborations concerne l'optimisation des touches de clavier dans le contexte mobile, notamment sur les montres connectées.

L'originalité de cette recherche est d'être à la frontière de l'Informatique Décisionnelle et de l'Interaction-Humain-Machine. Pouvoir adapter des techniques d'optimisation issue de l'Informatique Décisionnelle pour le domaine de l'Interaction Humain-Machine permettra de pallier le manque d'adaptation des interfaces sur petits dispositifs mobiles. De plus, c'est un sujet pertinent aujourd'hui avec l'émergence des dispositifs connectés de petite taille.

4.3. Rééducation

Dans le Chapitre 3, nous nous sommes intéressés au milieu hospitalier et en particulier comment aider le médecin en situation de mobilité lors de ses consultations à accéder au dossier patient électronique. Ce sont maintenant les échanges avec les patients qui nous intéressent. Il s'agit d'apporter de l'aide dans les techniques d'apprentissage proposées aux patients : aider les médecins à proposer des techniques de rééducation plus adaptées au patient.

4.3.1. Rééducation pour les personnes aphasiques : AphaTEC

4.3.1.1. Motivation

Un Accident Vasculaire Cérébral (AVC) est une souffrance cérébrale brutale due à une perturbation de l'irrigation d'une partie du cerveau [177]. La partie du cerveau mal irriguée, voire plus du tout, peut être endommagée, ce qui entraîne des conséquences plus ou moins graves, permanentes ou pouvant régresser (paralysies, troubles du langage...). Parmi tous ces troubles, on s'intéresse tout particulièrement à l'aphasie. L'aphasie regroupe tous les troubles de la parole et/ou de la compréhension survenus suite à des lésions dans l'hémisphère gauche du cerveau [177]. Les symptômes de l'aphasie peuvent être plus ou moins sévères et très divers. Ils peuvent aller du mutisme complet à une profusion de paroles inintelligibles. La personne atteinte d'aphasie peut :

- Ne plus se souvenir d'un mot de temps à autre.
- Avoir du mal à comprendre ce qu'on lui dit, à produire du langage, à articuler, à écrire, à lire, à faire des gestes, des mimiques, et/ou à dessiner, etc.
- Utiliser un jargon vite incompréhensible pour l'autre, inventer des mots, mélanger les syllabes, répéter le même mot tout le temps, etc.
- Avoir du mal à construire et ordonner sa pensée, etc.

Aujourd'hui, les praticiens distinguent globalement trois types d'aphasie avec pour chacun différents degrés de sévérité :

- L'aphasie non fluente (ou de Broca ou motrice). La personne comprend, sait ce qu'elle veut exprimer mais a des difficultés à articuler et des problèmes d'écriture.
- L'aphasie fluente (ou de Wernicke ou sensorielle). La personne parle mais ne comprend pas ce qu'elle dit. Les phrases sont incohérentes et la personne n'a pas conscience qu'elle a un trouble.
- L'aphasie globale (ou mixte), qui regroupe les deux types précédents.

Même si une récupération spontanée est possible, elle peut être accélérée si elle est stimulée. Plus le temps passe et plus il est difficile de récupérer. Lorsque le cerveau a atteint ses limites de récupération, la stimulation devient inutile. Il est donc important d'agir vite, même si le travail est long et irrégulier dans la progression. Il peut y avoir des phases de stagnation dues à diverses raisons dont la déprime et la démotivation de la personne. Il s'agit tout d'abord de retrouver la confiance en soi et une autonomie. Pour y parvenir, il faut faciliter et redonner une communication de base pour ne pas être gêné dans l'expression de ses besoins quotidiens (la faim, le froid, l'envie de dormir, etc.) [177].

Actuellement, la stimulation se fait lors de séances avec un orthophoniste au cours desquelles il s'agit de stimuler la fonction déficitaire. Il y a trois niveaux de stimulation : restaurer la fonction, la réorganiser et si cela ne fonctionne pas la compenser. La tâche des orthophonistes est de trouver les moyens de facilitation qui permettront à la personne aphasique de retrouver ses mots. Pour y parvenir, ils doivent constamment être attentifs et adapter leurs méthodes tant les cas sont variables. Après quelques entretiens avec des orthophonistes, il s'avère qu'ils travaillent beaucoup avec des images et très peu avec les nouvelles technologies. Leurs méthodes restent non numériques, soit par manque de temps pour s'y intéresser, soit par méconnaissance de leur potentiel. Les outils numériques commerciaux actuels ne sont pas satisfaisants : les banques de données sont limitées, les orthophonistes doivent rester avec le patient et cela reste un logiciel sur un ordinateur ou une tablette, ce qui peut être un frein. L'un des premiers manques soulevés porte sur la banque de données d'images qui peut se révéler trop limitée, voire éloignée des préoccupations du patient. Or pour le stimuler, il est important d'utiliser au maximum des données issues de son passé. C'est à ce moment que la famille, l'entourage du patient pourrait intervenir, mais là encore les relations entre famille et personnel médical sont souvent très limitées, par manque de temps. On peut se retrouver face à des familles frustrées, en manque d'informations et qui risquent de prendre des initiatives maladroites dans la rééducation. Par exemple, reproduire à la maison les exercices faits lors des séances avec l'orthophoniste n'est pas conseillé, car d'une part le patient est assez stimulé lors des séances, et d'autre part il est préférable que la maison soit un lieu de détente et favorise plutôt l'autonomie du patient.

L'orthophoniste ne peut laisser le patient seul lors des séances, car il ne dispose pas d'outils suffisamment adaptables. Ces dernières années, des études ont été menées pour utiliser les nouvelles technologies pour aider les personnes aphasiques, mais cela reste souvent ciblé sur des contextes bien précis : se rééduquer seul [178], améliorer les interactions avec des aides pour communiquer [179][180][181][182]. Nous souhaitons aborder une vision différente de l'usage des technologies. En effet, les technologies ne sont pas là pour remplacer l'humain, ici l'orthophoniste. Elles doivent au contraire l'aider dans sa tâche et permettre de rapprocher les acteurs principaux autour de la rééducation : le patient, l'orthophoniste et la famille.

4.3.1.2. Approche scientifique

Le projet AphaTEC (Aphasie et TEchnologies) doit permettre de proposer aux orthophonistes de nouvelles techniques d'interaction pour faciliter la rééducation d'une personne aphasique. Pour y parvenir, la capitalisation du savoir-faire de l'orthophoniste est une première piste intéressante à considérer. Elle permettra d'envisager des interfaces adaptables au contexte. Pour aller plus loin, il conviendra aussi de proposer des interfaces originales, faciles à utiliser, qui ne contraignent pas l'utilisateur, voire qui immergerait l'utilisateur dans son quotidien. De nouveaux types d'interfaces sont à explorer :

- Les interfaces haptiques qui pourraient intégrer le sens du toucher (avec des textures par exemple) pour apporter une autre stimulation dans la recherche de mots.
- Les interfaces tangibles qui rendraient interactifs des objets du quotidien du patient.
- Les interfaces mixtes qui permettraient au patient de rester dans le monde réel en manipulant des objets virtuels.

Pour y parvenir, j'ai obtenu un financement pour créer la salle PITEC (Plateforme Immersive TEchnologique Connectée). Cette salle offrira toute une panoplie de dispositifs (tables interactives, casques de réalité virtuelle et de réalité mixte, etc.) ainsi qu'un environnement simulant un salon pour réaliser des tests utilisateurs avec des capteurs montés sur une structure scénique.

Comme dans tous les projets auxquels j'ai participé, j'ai cherché à travailler en équipe. C'est ainsi que j'ai obtenu un contrat doctoral du Ministère sur le contingent « handicap » pour un de mes étudiants en situation de handicap du Master Informatique spécialisé en Interaction Humain-Machine dont je suis responsable. L'étudiant vient de démarrer son travail au 1^{er} Octobre 2019. Le projet est prévu sur trois années selon le planning défini

Tableau 7. Le sujet de thèse proposé est pertinent puisqu'il répond à un besoin qui concerne une vaste population au niveau national, mais aussi sur la scène internationale⁵. Des premiers contacts pris auprès de familles révèlent un besoin crucial d'être mieux informées et mieux impliquées, et auprès de certains orthophonistes montrent aussi un besoin d'innover dans les méthodes. Dans ce sujet de thèse, l'étudiant adoptera une démarche de conception centrée utilisateurs : les utilisateurs seront impliqués dans toutes les phases, qu'il s'agisse de l'analyse des besoins, à la génération d'idées, en passant par la conception, l'implémentation et l'évaluation. Dans les travaux proposés, l'étudiant sera face à trois catégories d'utilisateurs : les patients atteints d'aphasie, leur famille et le personnel médical.

⁵ <http://www.aphasia-international.com/languages/>

Chapitre 4 - Projet de recherche

Avec près de 300000 personnes aphasiques en France, l'étudiant pourra être en contact direct avec ces utilisateurs et leur famille. De nombreuses associations existent en France ; elles sont recensées au niveau national par la Fédération Nationale des Aphasiques de France⁶. Concernant le personnel médical, le laboratoire a déjà pris des contacts avec l'Institut Régional de Réadaptation (centre de Lay St Christophe) ainsi que des orthophonistes libéraux.

Tableau 7. Calendrier prévisionnel sur trois ans.

Comprendre l'aphasie - Connaître les méthodes de stimulation - Comprendre le patient – État de l'art	
1^{ère} année	<p>But :</p> <ul style="list-style-type: none"> • identifier les différents cas possibles de l'aphasie pour mieux cibler les solutions et le public qui sera visé ; • capitaliser les méthodes et l'expérience des orthophonistes pour proposer des solutions adaptatives ; • connaître le patient, ses craintes, ses attentes et son handicap pour favoriser l'acceptation des solutions technologiques et pour identifier les actions à mener pour avoir une stimulation optimale ; • identifier à quels niveaux intervenir : en amont (aide au diagnostic), pendant les séances de stimulation, après les séances (à court, moyen et long terme) ; • identifier les travaux de recherche sur le sujet pour pouvoir se positionner et tenir compte des études existantes pour innover. <p>Moyens :</p> <ul style="list-style-type: none"> • des livres spécialisés et des articles de recherche ; • des entretiens avec le personnel médical et para médical d'hôpitaux, de centres de rééducation ou du libéral (neurologues, orthophonistes, etc.) ; • des entretiens avec des patients et leur famille, mais aussi des personnes qui ont réussi à surmonter l'aphasie pour avoir un retour d'expérience. Les associations regroupant les personnes aphasiques permettront de cibler un vaste corpus ; • des observations de séances avec les orthophonistes. <p>Résultats attendus :</p> <ul style="list-style-type: none"> • état de l'art des travaux autour de l'utilisation des technologies numériques dans le cadre de l'aphasie (publication prévue) ; • création de scénarios de travail permettant de synthétiser toutes les étapes de stimulation : les séances avec l'orthophoniste et les séances à domicile ; • espace de conception permettant d'identifier toutes les dimensions à considérer pour proposer une solution adaptée (publication prévue)
2^{ème} année	<p style="text-align: center;">Mise en place de prototypes - Premiers tests utilisateurs - État de l'art</p> <p>But :</p> <ul style="list-style-type: none"> • proposer des solutions adaptatives accessibles et simples d'utilisation qui répondent aux attentes des différents utilisateurs ; • démarrer des tests utilisateurs sur tout ou une partie des solutions ; • se tenir au courant des derniers travaux de recherche autour de l'aphasie pour pouvoir se positionner. <p>Moyens :</p> <ul style="list-style-type: none"> • conception participative : méthode qui va permettre d'inclure les différents utilisateurs dans la boucle de conception. Des séances de brainstorming seront mises en place, car elles sont propices à l'innovation. Ensuite, des prototypes seront proposés aux utilisateurs ; • salle PITEC (Plateforme Immersive TEchnologique Connectée) du laboratoire : salle immersive permettant de réaliser des tests dans un environnement de type salon avec toute une panoplie de périphériques (casques de réalité mixte, lunettes électroniques, matériels haptiques, matériels électroniques pour la conception d'interfaces tangibles, imprimante 3D, table interactive, capteurs de mouvement montés sur une structure scénique, etc.) ; • technique du magicien d'Oz pour réussir à faire des tests même si les prototypes ne sont pas complètement opérationnels. Cette technique permet de simuler des modules pour se concentrer sur le test de modules spécifiques ; • une partie des utilisateurs consultés la première année sera contacté pour réaliser les tests ; • articles de recherche. <p>Résultats attendus :</p> <ul style="list-style-type: none"> • plusieurs prototypes ; • premiers résultats de tests utilisateurs (publication prévue) ; • état de l'art à jour.

⁶ <http://aphasie.fr>

Évaluations finales et rédaction du mémoire	
3 ^{ème} année	But :
	<ul style="list-style-type: none"> • terminer les évaluations et analyser les résultats • rédiger le mémoire
	Moyens : Identiques à la 2 ^{ème} année
	Résultats :
	<ul style="list-style-type: none"> • publications dans des conférences et revues de rang A. • soutenance de thèse

4.3.2. Éducation thérapeutique pour les personnes atteints d'ostéoporose : le projet THERAPEUTIC
Je vais participer au projet d'un jeune maître de conférences de mon équipe, David Bertolo : le projet THERAPEUTIC. Pour le moment ce projet n'est qu'en phase exploratoire pour pouvoir demander des financements. Je vais donc expliquer rapidement son projet.

4.3.2.1. Motivations

L'ostéoporose se définit comme une fragilité osseuse, survenant en majorité chez des personnes de plus de 60 ans, responsable de fractures itératives aboutissant à l'entrée en dépendance et en institution. Pourtant, nous disposons de traitements efficaces permettant d'éviter la récurrence de fractures, en particulier vertébrales et du col fémoral. Ces traitements sont longs, difficiles à suivre et nécessitent un long moment d'explication et de dialogue avec les patients pour aboutir à une réelle adhésion au suivi du traitement médicamenteux et à des changements de mode de vie imposés par la maladie. L'éducation thérapeutique du patient (ETP), telle que définie par l'Haute Autorité de Santé (HAS), permet de pallier ces difficultés en réunissant, dans des séances successives avec divers intervenants (rhumatologue, pharmacien, diététicien, APSA), les patients pour dialoguer avec eux sur leurs représentations de la maladie [183]. Il s'agit de rééduquer les patients pour qu'ils adoptent une hygiène de vie leur permettant de ralentir, voire stopper la progression de la maladie.

Ces séances ont un double objectif qui est d'une part d'aboutir à une alliance thérapeutique entre le patient et les médecins de façon à éviter l'arrêt intempestif du traitement (qui concerne 50% des patients au bout d'un an) et d'autre part l'adoption des changements du mode de vie en ce qui concerne l'alimentation, l'activité physique et l'équilibre au sol [184][185]. L'évaluation des programmes d'ETP se heurte à des problèmes complexes [186][187]. Leur mise en place nécessite l'utilisation de schémas explicatifs et d'animations qui ne répondent pas à toutes les questions des patients et restent très abstraits pour un grand nombre d'entre eux [188]. Ces études soulignent l'importance de la personnalisation de la prise en charge du patient pour une ETP efficiente [187] pour induire un réel changement dans les comportements.

Nous avons mené une étude empirique préliminaire basée sur l'observation de huit séances d'ETP. Celle-ci a mis en avant la non adaptation de certains supports :

- Ils ne permettent pas de comprendre la maladie et l'impact des différents facteurs nécessaires à sa prise en charge.
- Ils ne tiennent pas en compte les patients dans leur globalité avec leurs difficultés langagières et les autres pathologies les concernant.
- Ils sont générateurs de stress chez les patients, les empêchant de rentrer dans les apprentissages souhaités.

Dans ce contexte, il paraît pertinent d'explorer l'apport de technologies innovantes pouvant faciliter, dans le cadre des ETP, l'appropriation de comportements favorables à la santé des patients porteur d'ostéoporose. Des travaux récents [189][190][191][192], montrent que les Interfaces Tangibles [193] et Augmentées (ITA) peuvent soutenir les capacités d'abstraction et de conceptualisation à partir d'interactions gestuelles et d'illustrations nouvelles des concepts abordés. Les possibilités de manipulation directe des objets numériques couplées à la Réalité Augmentée (RA) permettent de rendre perceptibles des notions complexes ou difficiles à intégrer directement. De plus, l'utilisation de la RA permet de personnaliser et d'adapter l'approche en fonction de la pathologie et des besoins de chaque patient et ainsi d'illustrer de façon pertinente les concepts en prenant en compte le patient dans sa globalité (par exemple ses autres pathologies, ses traitements en cours). Ces environnements offrent un support idéal à la construction de connaissances et permettent de réaliser des tâches jusqu'alors inatteignables avec les dispositifs d'interaction standards (WIMP, Windows Icons Menus Pointing device). Les ITA portent donc un potentiel important de transformation des pratiques d'interaction et d'apprentissage, mais aussi des pratiques des professionnels de santé

Chapitre 4 - Projet de recherche

4.3.2.2. Objectifs

L'objectif du projet THERAPEUTIC vise la conception et l'évaluation d'une nouvelle génération de supports favorables à l'ETP. Pour faciliter la compréhension de la maladie par les patients, les échanges patients-soignants et les évolutions de comportements des malades, le projet se focalisera sur trois axes principaux :

- La modélisation de l'information pour les patients, celle-ci devant être adaptative et adaptée à chaque patient en fonction de sa pathologie, de ses représentations, de son niveau d'anxiété ou de stress et de ses besoins particuliers (accès à la langue).
- La caractérisation des ITA adaptatives et les techniques d'interactions permettant d'une part la compréhension des concepts par les patients et facilitant les échanges patient-soignant et d'autre part d'induire une évolution des comportements afin de réduire les facteurs d'aggravation et de favoriser l'observance des traitements.
- L'évaluation des apprentissages et du stress durant ceux-ci, de l'évolution des comportements des patients et des pratiques des soignants.

Un des challenges est de concevoir des solutions basées sur un design centré sur deux catégories d'utilisateurs finaux : les patients et l'équipe pluridisciplinaire en charge de l'ETP (médecin, infirmier, diététicien et pharmacien). Enfin, dans le cadre de l'ostéoporose, les patients étant très majoritairement âgés, nous pouvons faire l'hypothèse que l'utilisation des ITA aura l'avantage de minimiser les problématiques d'acceptation de la technologie et aussi celles liées aux compétences langagières (lecture, écriture, patients allophones).

Dans ce contexte, l'usage des ITA, pour pallier ces difficultés ainsi que les perspectives nouvelles offertes d'un point de vue pédagogique par ces technologies nous conduisent à mettre en place des travaux de recherche liant les domaines de la rhumatologie, de l'éducation thérapeutique, de l'informatique affective et des Interactions Humains-Machines (IHM). Ces recherches pourraient permettre de définir un kit d'atelier thérapeutique offrant une ressource éducative « scientifiquement fondée, élaborée et testée selon une méthode rigoureuse » pour la mise en œuvre d'ETP [194].

4.4. Acceptation du handicap visuel

Dans le chapitre 1, nous nous sommes intéressés à la définition de nouvelles techniques d'interaction pour aider les enfants déficients visuels pour mieux s'intégrer au milieu scolaire. Le but était de rendre l'apprentissage plus adapté au handicap visuel et lever la barrière des apprentissages sur support visuel. Des solutions à base d'interactions haptiques ont permis de montrer qu'il était possible de transposer des informations visuelles de documents scolaires en informations accessibles à des élèves non-voyants. L'idée était d'aller au-delà d'outils spécifiques en proposant des outils accessibles aux enseignants et aux élèves voyants afin de faciliter leur acceptation. Ce problème d'acceptation est fondamental et touche tous les âges. C'est ainsi que je compte orienter mes recherches dans le domaine de la déficience visuelle : proposer des outils permettant d'aider des personnes devenues aveugles à accepter leur handicap visuel (le projet CROISADE) et proposer des outils pour aider des athlètes déficients visuels à gagner en autonomie et pouvoir continuer à vivre leur sport (le projet Techno'Guide).

4.4.1. Le projet CROISADE

4.4.1.1. Motivations

Pendant le projet MICOLE (cf. 1.3.3), les entretiens avec les éducateurs et les enfants déficients visuels ont montré qu'il pouvait être difficile d'amener les enfants dont la vue allait inévitablement disparaître vers un apprentissage du Braille. Beaucoup d'enfants refusent d'utiliser des outils dédiés qui marqueraient leur différence. Pourtant, nos expérimentations ont révélé que ces mêmes enfants étaient motivés pour interagir avec de nouveaux dispositifs à partir du moment où le langage d'interaction utilisé n'est pas forcément dédié à la déficience visuelle. Ce fut le cas de la souris VTPlayer (cf. Fig. 1. 1. Les périphériques haptiques acquis. Fig. 1. 1) avec le langage d'interaction Tactons (cf. 1.4.3). Les icônes tactiles affichées sur la matrice ne faisaient pas référence au Braille et étaient faciles à comprendre. Les éducateurs y ont vu un moyen intéressant pour amener les enfants vers l'apprentissage du Braille.

Ainsi, l'utilisation d'une technique d'interaction (le couple $\langle d, l \rangle$ où d est le dispositif et l le langage d'interaction produit par d) qui à la base sert à accomplir une tâche, peut apporter une aide bien plus profonde pour l'utilisateur. Dans cet exemple, elle pourrait amener l'enfant à accepter l'apprentissage du Braille. Implicitement la technique pourrait amener à être sensibilisé à l'avantage d'une communication tactile et à l'aider à affûter sa perception tactile. Partant de ce constat, je m'intéresse à un projet plus ambitieux à long terme : le projet CROISADE (CRéation d'OutILS

pour l'Acceptation du hanDicap VisuEl). L'idée principale est de trouver des techniques d'interaction dont le but est de révéler un potentiel chez la personne déficiente visuelle et l'aider ainsi à accepter son handicap.

4.4.1.2. Contexte

L'Organisation Mondiale de la Santé, OMS, estime à près de 253 millions le nombre de personnes déficientes visuelles dont 36 millions sont aveugles [195]. Bien que toutes les catégories d'âges soient touchées, la population est plus dense sur deux extrêmes : les jeunes enfants et les personnes âgées [196]. En se concentrant sur la population adulte, on constate que les personnes âgées de 50 ans et plus sont particulièrement touchées : cette catégorie représente 81% de la population atteinte de ce type de handicap [195]. Comme l'OMS prévoit une augmentation progressive d'ici 2030, de plus en plus de personnes adultes devront vivre longtemps avec ce handicap [195][197][196] et de plus en plus de personnes seront confrontées au problème d'acceptation du handicap. Par contre, il n'est pas forcément prévu une augmentation du personnel pour les accompagner. Pourtant, ce problème d'acceptation est signe de lourdes répercussions sur l'intégration dans la société [198] : difficultés de vivre de façon autonome, d'accéder à l'emploi, etc. La moitié des personnes déficientes visuelles vivant à domicile reçoivent de l'aide d'un tiers [196]. D'une part, cela ne veut pas dire que l'autre moitié n'en a pas besoin et d'autre part, avoir le sentiment de devoir toujours dépendre de quelqu'un est un frein à la socialisation. Pour les personnes déficientes visuelles, la préservation ou la restauration d'une vie active (travail et loisir) est source de réconfort [199], mais le chemin pour y arriver est complexe.

L'acceptation du handicap est d'autant plus difficile si la personne a eu un vécu visuel et donc une vie sociale dans la normalité : c'est le cas de la déficience acquise [199]. Elle perd ses repères, ses connaissances sont altérées. L'annonce du diagnostic est perçue comme la fin de tout : c'est un énorme traumatisme que peut vivre la personne à ce moment précis [200]. Il est toujours très difficile de changer ses habitudes, mais dans ce cas précis les enjeux sont importants. De nouvelles peurs apparaissent et un stress intense accompagne les personnes qui perdent la vue : la peur de ne plus pouvoir aider son entourage, la peur de se faire agresser, le sentiment d'être devenu inutile, le sentiment d'isolement, le manque de confiance en soi, etc. [199]. De nombreuses études ont permis de recueillir des témoignages pour tenter de comprendre la situation dans laquelle pouvait se trouver une personne déficiente visuelle [196][199][201][202][203]. Parmi différents témoignages de personnes ayant perdu la vue, celui d'Irène, 69 ans, aveugle depuis 10 ans illustre bien cette difficulté : « [...] quand on perd la vue en cours de route, c'est plus la même chose. Parce qu'on a tout à réapprendre. Et moi, j'ai tout recommencé ma vie à zéro, et j'avais 59 ans. ».

Tout semble s'arrêter, mais il faut trouver les moyens de réagir et trouver la motivation nécessaire pour réapprendre, mais avant cela, la personne doit faire le travail du deuil de la vision. Les psychologues ont bien identifié les différentes phases qui interviennent dans ce travail [203] : la dénégation, la dépression et la réaction, mais il peut y avoir des variations. Par exemple, si la personne perd progressivement la vue, elle peut se retrouver dans une étape intermédiaire durant laquelle elle doit opérer des adaptations permanentes, ce qui peut la mettre dans un état psychologique encore plus fragile. Le rôle d'accompagnement que le psychologue doit opérer est critique : il doit cerner l'état psychique de la personne et ses motivations pour la période de rééducation. Sans le travail du deuil, la personne ne sera pas en mesure d'entendre les conseils de réadaptation et d'utiliser les aides existantes dédiées à son handicap.

4.4.1.3. Problématique et objectifs

Aujourd'hui, beaucoup d'aides technologiques sont proposées aux personnes aveugles pour gagner en autonomie et accéder à une véritable vie sociale. Certains chercheurs proposent des solutions pour aider la personne à continuer son activité professionnelle comme l'application pour permettre à des personnes aveugles de travailler dans les métiers de la production musicale [204]. D'autres s'intéressent à l'aide au déplacement grâce à des outils de navigation pour piéton [205][206][207] et même pour conducteurs de voiture [208] en utilisant une voiture autonome avec contrôle via un volant à retour haptique. L'aide à la planification de parcours est également une préoccupation des chercheurs [209][210]. Toutes les catégories d'âges sont visées par les travaux de recherche. On retrouve beaucoup de travaux sur de nouvelles techniques d'interaction pour les enfants, notamment pour la pédagogie, y compris pour les études supérieures [211][212][IP5]. Des études ont montré que les aides techniques pour compenser le handicap visuel sont relativement peu utilisées [196][198]. Les dispositifs tels que les ordinateurs, les machines à écrire en Braille ou encore les magnétophones sont utilisés par moins de 1% des déficients visuels [196]. Quant au Braille, il n'est finalement utilisé que par 1% des déficients visuels et seulement la moitié l'utilise pour lire et écrire. Les raisons pour lesquelles les aides dédiées sont si peu utilisées sont à plusieurs niveaux [196][198] :

- Financier : le coût élevé de certains matériels en limite l'accès aux personnes déficientes visuelles.
- Connaissance : les aides ne sont pas toujours connues.

Chapitre 4 - Projet de recherche

- Apprentissage : les aides peuvent nécessiter un apprentissage long et difficile qui peut décourager.
- Acceptation : le travail de deuil n'est pas fait intégralement et la personne éprouve des difficultés à accepter son statut d'aveugle. Elle se refuse à utiliser des outils spécifiques qui marqueraient sa différence sociale.

Le travail du deuil est une étape incontournable pour permettre aujourd'hui à une personne devenue aveugle de pouvoir se reconstruire et accepter d'utiliser des aides adaptées à son handicap. Ce travail ne peut se faire dans de bonnes conditions qu'avec l'aide de psychologues. Devant l'évolution du nombre de personnes mal voyantes, le travail des psychologues va inévitablement augmenter. Il faut se préparer à faire face à la difficulté de répondre.

Le projet CROISADE vise à améliorer la capacité de personnes devenues aveugles à rebondir face au traumatisme de l'annonce du handicap visuel. En psychologie clinique, tout comme en psychologie de la santé, on parle de résilience [213]. Sachant que le handicap n'est pas vécu de la même façon chez l'adulte et chez l'enfant [214], le projet CROISADE ne s'intéressera qu'aux personnes adultes. Il s'agit de tenir compte de personnes qui ont un profil complexe : elles ont un passé visuel lourd et des habitudes sociales bien marquées. De plus, chacune réagira différemment face à l'annonce du handicap visuel ; certaines peuvent même retourner leur déficience en une force [199]. L'acceptation du handicap s'avère donc délicat à traiter, surtout si on considère qu'accepter ce n'est pas se résigner.

La problématique de recherche dans ce projet et de savoir si une personne deviendra plus résiliente en lui faisant utiliser des outils créés en tenant compte des habitudes qu'elle avait dans le monde du voyant. En d'autres termes, l'originalité de la démarche est de proposer des outils technologiques qui vont permettre de faire le travail du deuil et d'aider à réduire les phases de déni et de dépression pour que la personne soit dans la phase de réaction le plus rapidement possible. Il ne s'agit pas de solutions d'assistance comme dans de nombreux travaux de recherche, mais de solutions pour être prêt à accepter sa nouvelle image sociale et pouvoir utiliser toutes les aides qu'on pourrait lui proposer par la suite. D'après l'étude de [199], la priorité doit être donnée à la revalorisation de l'estime de soi en l'aidant à exploiter ses ressources.

Le but du projet est de proposer d'utiliser des outils informatiques permettant à une personne déficiente visuelle de prendre conscience de ses capacités et de son savoir-faire : c'est un point important pour qu'elle puisse avancer [215]. Pour répondre à une demande croissante, les solutions mises en place auront pour but d'être simples à utiliser, voire à pouvoir être utilisées en autonomie et être peu coûteuses. Le challenge pour ces outils sera de ne pas apparaître comme un outil dédié à la déficience pour ne pas rencontrer un frein à son utilisation. L'idée principale est de détourner des outils connus par la personne alors qu'elle voyait, pour renforcer sa confiance et lui permettre de l'utiliser sans crainte et sans a priori. L'originalité par rapport aux applications proposées en recherche pour les personnes déficientes visuelles réside dans le rôle de ces outils : il s'agit d'apprendre à apprendre autrement.

Une autre piste intéressante serait par exemple d'utiliser la métaphore du stylo. Une personne voyante utilise naturellement un stylo. Perdre la vue signifie ne plus pouvoir utiliser ce moyen de communication. L'idée serait d'utiliser un outil ressemblant à un stylo, ce qui rendrait son acceptation plus facile et de le détourner pour montrer à la personne des connaissances de manière différente. Par exemple, le Phantom Omni utilisé dans le projet MICOLE (cf. Fig. 1. 1). Avec le retour haptique qu'il peut transmettre lors de sa manipulation, l'utilisateur peut sentir des objets et des textures. De plus, le déplacement du stylo peut être contrôlé, ce qui permet d'effectuer notamment des guidages [IP5]. Son utilisation pourrait ainsi permettre d'apprendre à la personne à recevoir des informations en exploitant son sens tactile tout en continuant à utiliser un stylo. Le guidage proposé par le retour haptique du périphérique permettrait également d'apporter une aide afin de réduire les erreurs de manipulation ou encore lui faciliter des tracés précis : dans ce cas, comme dans de nombreux cas suite à des traumatismes, il est important que la personne réussisse ses tâches et ne soit pas mise en échec.

Ce projet adresse un problème très réel aujourd'hui. J'ai d'ailleurs déjà reçu le soutien moral de la Maison Départementale des Personnes Handicapées de Moselle et deux associations de personnes déficientes visuelles locales qui sont aussi implantées au niveau nationales sont intéressées : l'AAA (Association des Auxiliaires des Aveugles de Moselle) et G12A (groupement des Intellectuels Aveugles ou Amblyopes) présentées au 1.2.2. Les solutions proposées permettraient une grande avancée dans les problèmes sociétaux liés à la perte d'autonomie. Il s'agira plus précisément d'étudier l'impact des solutions technologiques sur la résilience des personnes adultes face au handicap visuel. Plusieurs problématiques de recherche supplémentaires apparaissent ici :

- Définir les indicateurs caractéristiques de la résilience face au traumatisme du handicap visuel ;

- Déterminer les indicateurs qui seront modifiés par notre étude ;
- Trouver des méthodes pour identifier, voire mesurer ces indicateurs pendant l'interaction avec les nouveaux outils.

4.4.1.4. Méthodologie

La démarche proposée est avant tout centrée utilisateurs i.e. les personnes non voyantes seront au cœur du projet pendant toutes les étapes du projet :

- Au début pour comprendre la problématique. De nombreux entretiens et séances d'observation seront menées. L'expérience également de personnes qui ont su passer le cap du handicap sera aussi prise en compte.
- Pendant les étapes de spécification des solutions, des utilisateurs seront impliqués dans les propositions à mettre en œuvre.
- Pour fiabiliser les outils, de nombreux tests seront effectués auprès des utilisateurs et leur ressenti sera pris en compte.

Autre originalité du projet, au cours des tests et observations, des mesures seront prises pour détecter l'état émotionnel de la personne à l'aide de méthodes non invasives pour l'utilisateur : à partir d'une image vidéo d'une personne nous pouvons récupérer des données physiologiques et comportementales (la fréquence cardiaque, la fréquence de respiration, etc.). Cette méthode permettra de mieux cerner l'état de la personne et d'apporter une réponse plus adaptée.

Les résultats attendus sont multiples :

- Rendre les personnes aveugles résilientes face à leur handicap.
- Créer un ensemble d'outils technologiques permettant d'améliorer la résilience face à la perte de la vision. Les solutions proposées pourront être regroupées en une plateforme dédiée à la gestion du travail de deuil.
- Identifier l'impact des outils sur la résilience et disposer de nouveaux indicateurs pour la mesurer

Au niveau de l'exploitation de ces résultats, il est prévu de mettre à disposition la plateforme au sein des associations partenaires (l'Association des Auxiliaires des Aveugles de la Moselle et le Groupement des Intellectuels Aveugles ou Amblyopes). Cela nous permettra également d'envisager une expérimentation de la solution sur du long terme et à plus grande échelle. De plus ces deux associations n'étant que des délégations, nous aurons la possibilité de lancer par la suite une étude nationale auprès d'autres délégations.

Pour que ce projet fonctionne, il est important de constituer une équipe pluridisciplinaire de chercheurs pour d'une part innover en matière d'aides, mais aussi pour comprendre l'humain dans la société, lui proposer des aides adaptées et voir si ces aides ont un impact sur l'acceptation du handicap visuel. J'ai déjà des contacts avec deux autres laboratoires intéressés :

- Le laboratoire en psychologie Interpsy de l'Université de Lorraine. Plusieurs chercheurs sont intéressés par l'étude de la résilience.
- Le laboratoire d'informatique IRIT de l'Université Paul Sabatier de Toulouse. Plusieurs chercheurs de ce laboratoire sont spécialisés en IHM et en sciences cognitives avec une grande expertise dans le domaine de la déficience visuelle. Des ingénieurs faisant partie de ce laboratoire sont eux-mêmes déficients visuels et peuvent également apporter leur expérience.

Par ailleurs, dans mon laboratoire, j'ai des chercheurs qui sont spécialisés dans la détection de l'état émotionnel des utilisateurs. Ils pourront intervenir dans les phases d'expérimentation pour nous aider à détecter les variations émotionnelles des utilisateurs.

4.4.2. Le projet Techno'Guide

4.4.2.1. Motivations

En 2024, les Jeux Paralympiques se dérouleront à Paris alors que le nombre de médailles récoltées par la France ne cesse de diminuer. Le rapport 2018⁷ sur la haute performance demandé par le Ministère des Sports a révélé des moyens limités pour le handisport français par rapport aux autres pays : moins de personnels pour aider aux différentes tâches (préparateur physique, personnel médical, etc.), moins de moyens financiers (46M€ pour le handisport britannique

⁷ http://www.sports.gouv.fr/IMG/pdf/20180123_rapport_hp21.pdf

Chapitre 4 - Projet de recherche

contre 3M€ pour les français). Dans ces conditions, il est difficile d'avoir une préparation optimale. Afin d'augmenter le nombre de médailles pour les Jeux Olympiques et Paralympiques, l'État va débloquer près de 20 millions d'euros pour financer des projets de recherche visant à améliorer les performances des athlètes français. Un appel à manifestation d'intérêt a été lancé avant le lancement d'un appel à projet de l'ANR fin juillet 2019.

Un collègue électronicien de mon laboratoire, Romuald Stock, avait dans le cadre d'un projet de fin d'étude d'élève ingénieur en électronique réalisé un prototype pour guider un coureur non-voyant sur piste à la demande de Moselle Sport Académie, dispositif du département de la Moselle géré par l'entreprise G&A qui propose des services aux sportifs de hauts niveau et l'association ISEETECH via son Institut de l'Autonomie qui mutualise les compétences, ressources et réseaux existants autour du handicap. Ce projet, appelé Techno'Guide, avait suscité un grand intérêt de la part du monde handisport malgré un usage limité :

- Timothée Adolphe, athlète non-voyant, recordman d'Europe du 100m et 200m, détenteur du record du monde sur 60m. Avec son groupe d'entraînement (au total 6 ou 7 athlètes), ils sont volontaires pour apporter leur expérience et pour tester des solutions innovantes. Timothée Adolphe a déjà participé à la preuve de concept lors d'un entraînement à l'INSEP à Paris.
- Norbert Brige, ancien entraîneur de Stéphane Bozzolo (athlète malvoyant en saut en longueur, double médaillé d'or aux Jeux Paralympiques d'Atlanta en 1996 et de Sydney en 2000). Il est aujourd'hui en charge du haut niveau au CREPS (Centre de Ressources, d'Expertise et de Performance Sportive) de Nancy. Il apporte son soutien au projet et a déjà apporté son expérience lors du projet de fin d'étude.
- Nicolas Szachsznajder, référent commission Athlétisme Handisport Grand Est. Il a validé le projet et apportera son expertise.
- Michaël Jeremiasz, médaillé d'or aux Jeux Paralympiques de Pékin en 2008, ancien numéro un mondial en tennis fauteuil. Il apporte son soutien au projet et en fera la promotion en diffusant régulièrement sur l'avancée des travaux.

Travaillant dans le domaine de la déficience visuelle et des aides technologiques adaptées, j'ai intégré ce projet afin de le transformer en un véritable projet de recherche et répondre ainsi à l'appel à manifestation d'intérêt sur le sport de haute performance dans le but de déposer ensuite un projet à l'ANR. C'était une opportunité à saisir qui correspond parfaitement à mon projet de recherche. Permettre à un athlète déficient visuel d'améliorer ses performances est une image forte pour montrer l'acceptation de son handicap.

Pour préparer un projet de plus grande envergure tel que demandé par l'État, il fallait regrouper toutes les forces nécessaires et définir un véritable projet de recherche. C'est ce qui m'a motivé pour prendre en charge ce projet. Mes contacts et mon expertise en IHM dans le domaine de la déficience visuelle seront un atout pour ce projet. Suite à l'appel à manifestation d'intérêt, il s'est avéré que le projet ne pourrait pas être retenu pour l'appel d'offre de l'ANR : la Fédération Française Handisport bien qu'intéressée par le projet, ne pouvait le soutenir, car déjà impliquée dans plusieurs autres pour cet appel. Or son implication était une condition obligatoire.

Devant l'intérêt porté par les sportifs, j'ai proposé de répondre à l'appel à manifestation d'intérêt de la région Grand Est sur l'économie numérique début septembre 2019. L'objectif de cet appel est de soutenir le déploiement de projets innovants appliquant les technologies du numérique à des marchés à fort potentiel de croissance, avec un intérêt particulier pour les technologies intégrant de l'Intelligence Artificielle. Cet appel vise des projets sur 18 mois à partir de mars 2020 environ, avec à la clé un produit à commercialiser. Le projet Techno'Guide peut correspondre à cet appel, car il est inscrit dans les actions du département de la Moselle pour obtenir le label « Terre de Jeux 2024 »⁸, ce qui va ouvrir un fort potentiel de croissance et va permettre à un athlète de courir seul sur la piste pour s'entraîner et améliorer ses performances en utilisant des techniques d'interaction innovantes faisant appel à des techniques d'Intelligence Artificielle pour le guider. Il a d'ailleurs déjà passé la phase de présélection fin septembre 2019. Il doit maintenant être déposé pour la seconde phase dont les résultats seront transmis début 2020.

4.4.2.2. Contexte

Le projet Techno'Guide s'intéresse à la préparation des coureurs déficients visuels et plus particulièrement à leur autonomie. Actuellement, un coureur a besoin d'un guide pour s'entraîner. Le guide et le coureur sont reliés par une corde tenue par leur main. Le but de la corde n'est pas de tirer, mais de transmettre l'information sur le déroulement de la course. Le guide peut donner des instructions verbales sur des obstacles ou changements de direction. La

⁸ <http://terredejeux.paris2024.org>

problématique pour l'athlète est de trouver un guide capable de maintenir son rythme de course. Pour ne pas le ralentir, le guide doit être plus performant. À un haut niveau, il est d'autant plus difficile de trouver des guides que le nombre d'entraînements demande une grande disponibilité. L'athlète doit souvent faire appel à plusieurs guides, ce qui ne permet pas de garantir une continuité dans les entraînements. Le nombre de guides en France est limité : aux derniers championnats d'Europe à Berlin en 2018 on ne comptait que quatre guides pour l'équipe de France⁹. La Fédération Française Handisport a lancé un appel afin de rechercher des athlètes valides volontaires pour devenir des guides¹⁰.

Le projet Techno'Guide veut aller plus loin et répondre à ce manque en permettant à un athlète de courir seul sur la piste pour s'entraîner et améliorer ses performances en utilisant des techniques d'interaction innovantes. L'athlète ne serait plus dépendant d'un guide et pourrait planifier ses entraînements en toute autonomie. À moyen terme, on pourrait envisager d'adapter Techno'Guide aux séances d'entraînement d'autres disciplines sportives comme le saut en longueur. À long terme, l'athlète pourrait concourir sans guide. Cela éviterait comme à Sydney¹¹ en 2009 lors du 5000m, que le Kenyan Wanyoike Henry n'épuise complètement son guide. L'objectif ultime serait de permettre aux coureurs déficients visuels de courir avec des coureurs valides. En effet, ce n'est pas un problème de performance. L'athlète française Assia el Hannouni a couru sans guide sur un 800m lors du championnat de France en 2007 avec des athlètes voyants. Elle réussit à se classer 5^{ème} en parcourant 25m de plus que les autres, car pour ne pas gêner les coureurs, elle s'est placée dans le deuxième couloir plus long.

4.4.2.3. Problématique et objectifs

Le projet Techno'Guide se situe dans le contexte de l'autonomie d'une personne déficiente visuelle pour se déplacer. Ce problème intéresse la communauté scientifique depuis longtemps. De nombreuses solutions sont proposées. L'une des plus évidentes consiste à utiliser la métaphore du chien guide. Plusieurs chercheurs ont déjà travaillé sur l'utilisation de robots terrestres reliés par une sorte de laisse pour aider la personne déficiente visuelle à se déplacer [216][217][218][219]. Avila et al. [220] ont même étudié l'usage d'un drone. Ces solutions sont souvent complexes à mettre en œuvre et ont un coût assez élevé. D'autres solutions consistent à utiliser des technologies dites « portées » qui vont donner des informations de guidage directement à l'utilisateur via du son et/ou des vibrations. Il peut s'agir de périphériques dédiés [206] ou des périphériques existants déjà munis de plusieurs capteurs et effecteurs comme les lunettes électroniques [221][222].

Ces solutions ne sont pas viables dans le contexte de la course sportive de haut niveau pour laquelle la performance est un point central, car il complexifie la navigation et le traitement des données. Le projet étant centré sur la phase d'entraînement du sportif, la problématique est de mieux comprendre le milieu sportif. Vechev et al. ont mené une étude pour déterminer la place de capteurs sur des sportifs et leurs interactions avec les performances. Ils ont capturé différentes données lors d'entraînements de coureurs et de cyclistes et ont défini des règles pour aider à concevoir des technologies mieux adaptées à ce contexte afin d'optimiser l'interaction avec les sportifs [223]. Une autre étude s'est intéressée à l'impact et l'utilisation des nouvelles technologies en milieu sportif (de haut niveau ou pas) et a permis de donner des recommandations pour des travaux futurs [224]. Ces recherches sont intéressantes, mais n'incluent pas les attentes spécifiques des sportifs handisport.

Il existe quelques travaux de recherche pour aider les sportifs déficients visuels : pour la pratique du yoga [225] ou pour aider les nageurs à se déplacer dans leur couloir de nage [226][227]. Dans le domaine de la course, on retrouve le concept du drone comme dans [220], mais il a dû être adapté pour convenir aux critères de performance : une étude a été proposée pour guider un coureur voyant à l'extérieur [228], et une autre étude s'est intéressée au guidage pour un coureur déficient visuel sur une piste [229]. Le verrou était de transmettre la position du drone au coureur pendant sa course. Cette technique a plusieurs avantages : le coureur est libre de ses mouvements, il n'est pas encombré avec des capteurs, il détecte mieux les obstacles qu'un robot terrestre car il vole à hauteur des yeux et peut voler à distance fixe du coureur via des marqueurs posés sur son tee-shirt. Le coureur est guidé par le son émis par le drone ou un retour vocal via le drone. Cette technique a ses limites : la vitesse du drone dans cette étude ne pouvait excéder 17,7 km/h alors qu'un athlète peut aller jusqu'à 32km/h pour le 100m, 19,5km/h pour le 5000m (temps des médaillés d'or

⁹ <http://athletisme-handisport.org/wp-content/uploads/2018/08/Dossier-de-presse-V3.pdf>

¹⁰ <http://www.handisport.org/binome-gagnant-devenez-guide-dun-athlete-handisport/>

¹¹ vidéo:<http://www.youtube.com/watch?v=qCQ9vGnN0vQ>

Chapitre 4 - Projet de recherche

aux jeux paralympiques 2012 de Londres [230]), l'étude porte sur un coureur seul sur la piste sans traiter le problème de plusieurs coureurs s'entraînant sur la piste avec éventuellement des drones.

Le projet demande de pouvoir localiser le coureur par rapport à la piste et aux obstacles humains ou non potentiels, de gérer l'information et proposer une réponse au coureur en temps réel pour lui permettre de rester dans son couloir de course. Il s'agit d'embarquer sur le coureur un guide électronique qui capte les informations du coureur et de son environnement pour les interpréter et les corréliser avec l'expérience utilisateur afin de lui permettre de courir pour améliorer ses performances. Nous proposons d'utiliser des technologies innovantes (lunettes électroniques, bracelet connecté, etc.) qui peuvent capter et transmettre l'information en situation de mobilité. Les verrous scientifiques portent sur la manière de les adapter, les agréger et traiter les informations produites pour répondre au mieux aux attentes des sportifs dans un milieu contraint (la piste d'athlétisme) en mobilité extrême. Le projet s'appuie sur une variabilité des données due au contexte de la course et sur une expérience utilisateur du sport de haut niveau pour proposer des solutions adaptées. C'est ainsi que se pose le challenge de l'Intelligence Artificielle :

- Localiser le coureur, son couloir de course et les obstacles humains ou non potentiels. Cela demande de concevoir des circuits intégrés sur la base d'architectures hétérogènes reconfigurables CPU (Central processing Unit) /FPGA (Field Programmable GateArray) pour intégrer des applications complexes nécessitant du calcul haute performance avec des données transmises en temps réel.
- Définir les interactions pour communiquer de façon efficace avec un athlète déficient visuel en situation de mobilité extrême. Il s'agit de définir des aides pour entraîner un athlète à la performance. Ces aides sont issues principalement de l'expérience des athlètes, des entraîneurs et doivent pouvoir s'adapter en temps réel au contexte réel du coureur.
- Étudier des solutions efficaces d'ordonnement, notamment en termes de temps de calcul. L'une des particularités des architectures à mettre en place concerne le contexte embarqué ainsi que l'hétérogénéité des cibles d'exécution qui rend le problème de l'ordonnement particulièrement délicat et complexe, et qui est un problème NP-difficile au sens fort.

4.4.2.4. Méthodologie

Le but du projet est d'équiper à faible coût les athlètes déficients visuels spécialisés dans la course d'une technologie pour s'entraîner sans guide de manière efficace i.e. pour devenir plus performant. Les résultats attendus devront aller au-delà de la métaphore du guide en exploitant les capacités des technologies pour apporter une réelle plus-value au coureur.

Le projet Techno'Guide adoptera une démarche de conception centrée utilisateurs i.e. les utilisateurs seront impliqués tout au long du processus. Les athlètes impliqués dans le projet bénéficieront des avancées en continu pour améliorer progressivement leurs entraînements. Le projet se déroulera sur 18 mois et sera divisé en 6 lots (les interactions entre les lots et les durées sur les dix-huit mois sont illustrées Fig. 4. 19 et Fig. 4. 20) :

- Lot 1 : Gestion de projet. Ce lot sera réalisé en parallèle des autres tâches. Il permettra d'assurer la coordination entre les équipes, le respect du planning et la réalisation des objectifs.
- Lot 2 : Analyse de besoins – Contexte scientifique et technologique. Les six premiers mois du projet seront consacrés à la maîtrise du contexte de l'entraînement pour la course handisport. Le but est de comprendre l'entraînement avec un guide (les interactions guide-athlète, ce qui fonctionne, ce qui ne fonctionne pas, les attentes des sportifs et de leur entraîneur). Plusieurs approches seront utilisées : un état de l'art des pratiques courantes et des moyens technologiques, des entretiens (semi-directif et d'explicitation) et des observations in situ.
- Lot 3 : Périphériques et calculs hautes performances. Ce lot s'intéressera à la conception de prototypes chargés de répondre aux besoins exprimés dans le lot 2 et à la problématique du calcul en temps réel nécessaire.
- Lot 4 : Techniques d'interaction en situation de course. Ce lot concerne l'étude des tâches à proposer au coureur et les moyens pour les réaliser. Il s'agira d'utiliser les périphériques du lot 3 pour obtenir des langages d'interaction adaptés à la situation de course de compétition.
- Lot 5 : Tests utilisateurs. À chaque point d'avancement des lots 3 et 4, des tests seront effectués avec les sportifs.
- Lot 6 : Dissémination. Ce lot est consacré à la dissémination des résultats et à leur exploitation. Il interviendra tout au long du projet. Les résultats majeurs seront publiés dans des conférences et revues scientifiques. Nos partenaires industriels et du milieu handisport se chargeront de l'exploitation et de la diffusion des résultats auprès des sportifs handisport.

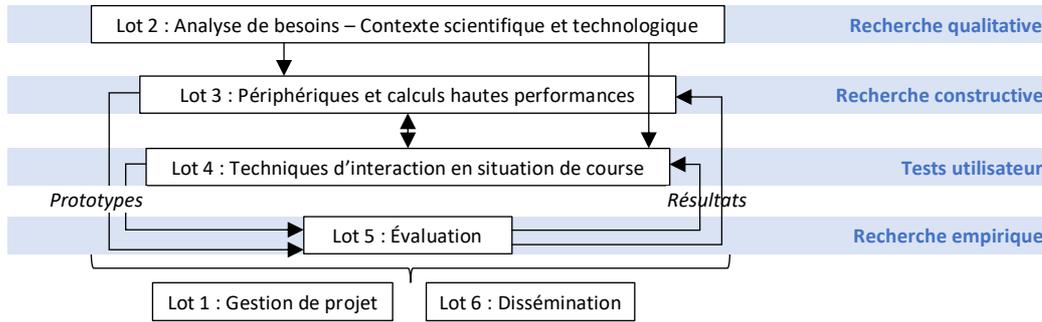


Fig. 4. 19. Projet Techno'Guide : diagramme PERT.

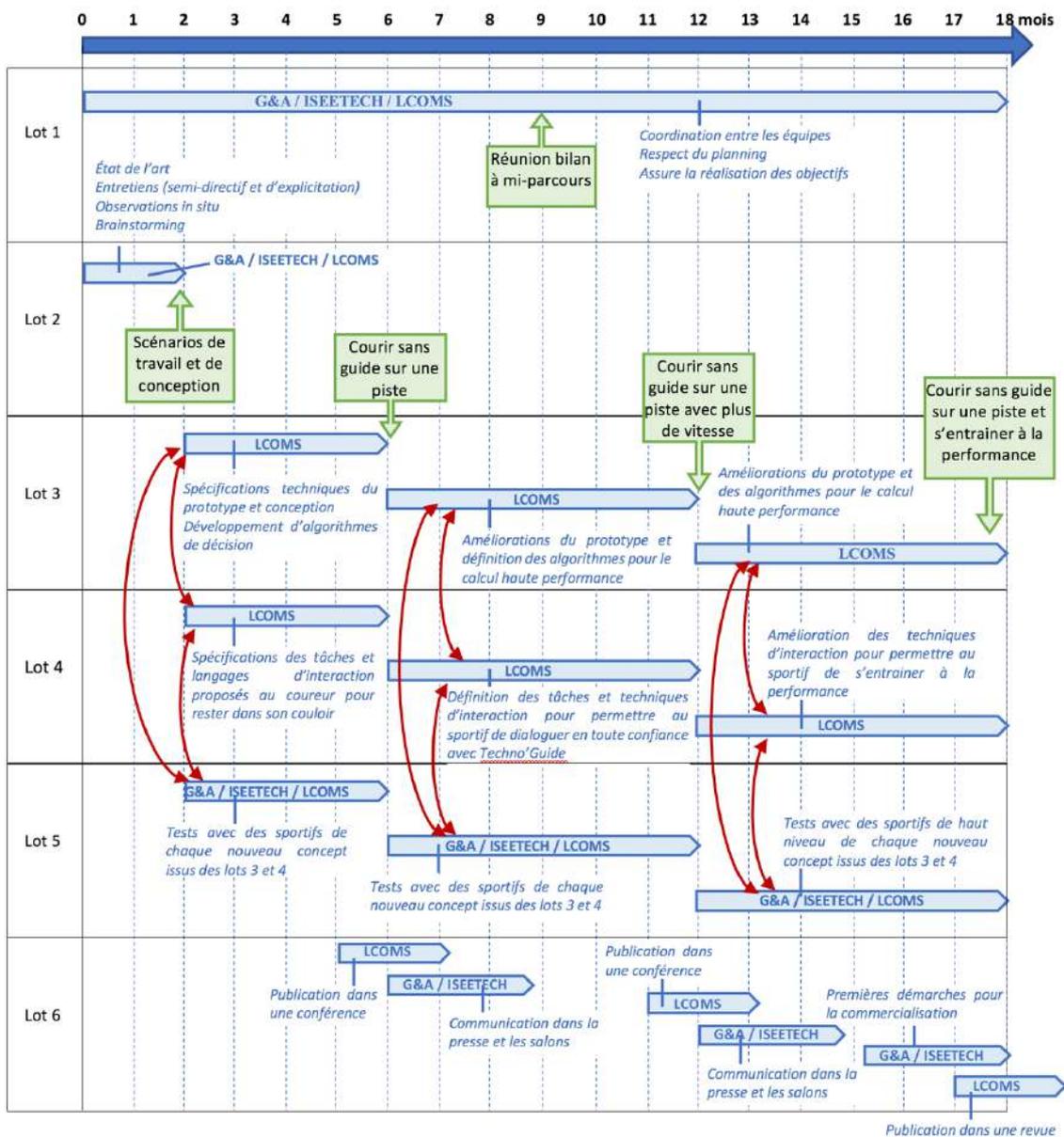


Fig. 4. 20. Roadmap du projet Techno'Guide.

4.5. Conclusion

Dans ce chapitre, j'ai présenté les projets de recherche qui vont me permettre de continuer à travailler dans l'élaboration de nouvelles techniques d'interaction pour aider les utilisateurs. Les axes présentés sont issus de réflexions ou de mises au point sur mes précédents travaux (cf. Fig. 4. 1). Certains ont déjà démarré, comme les travaux sur les interfaces adaptatives. Dans ce travail, ce sont les techniques d'interaction en sortie qui seront mises en avant puisque la problématique posée est de présenter à l'utilisateur une interface accessible par rapport à toute une panoplie de contraintes liées à l'utilisateur et au contexte d'usage. L'originalité de la démarche est d'allier des solutions issues de l'informatique décisionnelle plutôt théoriques à des techniques d'interactions pour les rendre adaptatives. Le travail abordé au départ sur des aspects théoriques va monter en puissance avec des contraintes IHM de plus en plus complexes. Les contextes d'usage qui permettront de valider l'approche seront très différents pour permettre de tester la fiabilité de la méthode. Ainsi, les techniques d'interaction utiliseront des dispositifs très différents les uns des autres comme des montres connectées, des casques de réalité virtuelle ou de réalité mixte.

Le deuxième axe de recherche porte sur la rééducation. Il se décline en deux projets : l'un sur la rééducation de personnes aphasiques et l'autre sur la rééducation des habitudes de vie pour les personnes atteintes d'ostéoporose (ou éducation thérapeutique). Dans les deux projets, ce sont les techniques d'interaction en entrée et en sortie qui devront être mises en place pour aider les patients à progresser. Le but est d'innover et de mettre en avant les nouvelles technologies que ce soit dans le domaine des interfaces tangibles augmentées, des interfaces haptiques ou de réalité mixte. Le projet sur l'aphasie vient tout juste de démarrer suite à l'obtention d'un financement de thèse. Par contre, le second projet auquel je participe (pas en tant que responsable) n'a pas réellement démarré, si ce n'est une phase préparatoire pour étudier l'intérêt du projet par rapport à l'existant. Nous n'avons fait pour le moment que quelques observations de séances d'éducatons thérapeutiques. Ces premières observations ont révélé un besoin pour les patients qui n'arrivent pas à comprendre tout ce que les praticiens expliquent et qui ne trouveront pas la motivation suffisante pour changer leur mode de vie, et un besoin pour les praticiens qui n'arrivent pas à communiquer correctement avec les patients. Ce projet est à voir sur le moyen terme.

Enfin, le dernier axe de recherche concerne les personnes déficientes visuelles à travers deux projets : le projet CROISADE et le projet Techno'Guide. Le projet CROISADE n'est qu'à la phase exploratoire, de pré-projet. C'est un projet à long terme, car il doit permettre la création de différentes techniques d'interaction capables d'aider des personnes devenues aveugles à accepter leur handicap. D'une part, il ne peut s'agir d'une étude courte puisque l'analyse du changement d'état ne se fera pas simplement et rapidement. D'autre part, le nombre de techniques à mettre en place pourra être important afin de proposer une plateforme suffisamment complète pour être adaptée à un maximum de cas. Le projet Techno'Guide quant à lui vise à répondre à l'appel à projet de la région Grand Est sur l'économie numérique. S'il est accepté, ce projet démarrera dès 2020 et permettra d'aider les athlètes pour les Jeux Paralympiques de Paris 2024. Ce projet Techno'Guide pourrait de manière indirecte faire partie du projet CROISADE si l'on considère que la solution proposée pour les sportifs de haut niveau pourra être utilisée pour tout public déficient visuel désirant faire de la course sur piste. Ce sera un moyen de motiver notamment les personnes devenues aveugles en leur montrant qu'elles peuvent toujours pratiquer un sport telle que la course.

Chapitre 5

Synthèse des activités d'enseignement, administratives et de recherche

5.1. Synthèse des activités d'enseignement

5.1.1. Présentation

Maître de conférences depuis septembre 1997, je suis intervenue dans tous les niveaux de formation en informatique : de Bac +1 à Bac + 5. Bien que le département informatique soit largement déficitaire en nombre de postes (une quinzaine), je me suis toujours limitée en nombres d'heures complémentaires à 30h en moyenne par an afin de ne pas pénaliser la partie recherche.

Les cours que je donne sont sous forme de cours magistraux, de TD ou de TP. Ils sont essentiellement autour de la programmation (algorithmique, Pascal/Delphi, C, C++, J2EE, C#/ .Net, méthodologie de la programmation) ou de mathématique de recherche, à savoir l'IHM. Ainsi, j'enseigne la création d'interfaces graphiques à travers l'apprentissage de différentes librairies de développement, sans oublier les concepts de base du développement en IHM. Ces cours sont à la fois pour les débutants (1^{ère} et 2^{ème} année), mais aussi à destination des Masters. **Au niveau Master, j'essaie de faire découvrir mes activités de recherche avec des cours plus approfondis sur le développement d'interfaces en abordant à la fois les aspects plus méthodologiques (à travers les méthodes de conception de systèmes interactifs) et des interfaces innovantes (à travers la multimodalité ou encore les interactions haptiques).**

L'activité d'enseignement est un moyen de transmettre aux étudiants toute mon expertise acquise en recherche. À travers ces cours, j'espère susciter des vocations de chercheurs et identifier de futurs candidats pour des contrats doctoraux. Il est important de ne pas dissocier totalement nos activités d'enseignements de nos activités de recherche. C'est ainsi que j'ai pu trouver 4 des 6 étudiants que j'encadre/j'ai encadré en thèse. Pour la rentrée 2019 par exemple, j'ai réussi à motiver un étudiant en situation de handicap du Master Informatique via mon cours sur les interfaces innovantes. Nous avons déposé ensemble une demande de contrat doctoral dans le cadre de la campagne « doctorat handicap 2019 » du Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. Classé premier au niveau de l'Université de Lorraine, le Ministère lui a accordé un contrat doctoral à compter du 1^{er} Octobre 2019.

J'ai toujours adopté une politique d'enseignement communautaire. La transmission du savoir et surtout l'interactivité avec les étudiants est importante. Lorsque je crée un nouveau cours, il doit pouvoir être diffusable aux étudiants, mais aussi pouvoir être transmis à d'autres collègues. Depuis la mise en place d'une plateforme de cours en ligne basée sur Moodle, tous mes cours sont en ligne sur cette plateforme. J'ai créé 7 cours en ligne (<http://arche.univ-lorraine.fr>) ouverts uniquement aux étudiants et aux enseignants concernés :

- « M2 informatique – Interfaces haptiques » ;
- « M2 – IPAC-IHM – Librairies de développement d'interfaces » ;
- « M2 – Informatique – MCSI – I. PECCI », anciennement « M1 – Informatique – Génie des systèmes interactifs » ;
- « M1 – Informatique – Initiation à la multimodalité », anciennement « M2 – Informatique – Multimodalité » ;
- « M1 – Informatique – Développement .Net » ;
- « L2 – Informatique – Interfaces graphiques » ;
- « L1 – informatique – Méthodologie et Programmation niveau 1 ».

Grâce à cette plateforme, j'ai pu céder deux des sites à des collègues qui ont repris mon cours. J'utilise cette plateforme de manière interactive :

- les supports de cours sont réactualisés chaque année et mis à disposition au fur et à mesure de l'avancée du cours ;
- les étudiants doivent y déposer leurs travaux (exposés, projets) ;
- les notes détaillées avec commentaires sont diffusées ;
- je mets en place pour certains cours des QCM en ligne pour évaluer rapidement les étudiants sur les concepts fondamentaux de mes cours. Au fil des années, je me constitue une base de données de questions qui me permet de créer différents QCM.

5.1.2. Animations pédagogiques

5.1.2.1. Responsabilités pédagogiques

Après 4 ans d'expérience en tant que maître de conférences, j'ai voulu mettre à profit mes capacités d'administration et d'organisation pour gérer une filière. **Sur 22 années de carrières (1997-2019), j'ai assuré 17 années de responsabilités pédagogiques** : DEUST TIC 1^{ère} année (3 ans), L3 informatique (6 ans), M2 SIP IHM (2 ans), M2 Informatique IPAC-IHM (5 ans), M2 Informatique G2IHM-IHM (1 an). Pour l'année 2019-2020, j'ai pris la responsabilité

Chapitre 5 - Synthèse des activités d'enseignement, administratives et de recherche

du L2 Informatique en parallèle de la responsabilité du M2 Informatique G2IHM-IHM. Comme il n'y avait aucun candidat pour cette responsabilité et que j'ai une très bonne expérience dans le domaine, j'ai accepté de la prendre pour permettre aux étudiants d'avoir un interlocuteur à la rentrée.

C'est une responsabilité qui me plaît, car elle permet de mettre à profit mes qualités de gestionnaire. Parmi les tâches liées à cette fonction, je citerai celles qui me paraissent intéressantes et formatrices pour pouvoir diriger des recherches :

- être à l'écoute des étudiants et gérer les relations avec l'équipe pédagogique. Savoir gérer les problèmes rencontrés par les étudiants, leur permettre de retrouver une motivation et apporter un conseil éclairé font partie du quotidien du responsable pédagogique. Pourtant ce sont aussi des qualités indispensables en recherche lorsqu'on dirige une équipe ou lorsqu'on veut guider un étudiant pendant sa thèse ;
- recruter des intervenants extérieurs adaptés à l'offre de formation. **Savoir trouver les bons partenaires demande de se constituer un solide réseau et d'avoir les bonnes pratiques pour convaincre.** En recherche, pour monter des projets, il faut également trouver les bons partenaires, savoir où les trouver et les convaincre de participer ;
- déposer des projets pédagogiques pour améliorer les conditions de travail : financer du matériel spécialisé (périphériques haptiques, périphériques mobiles, matériel pour concevoir des interfaces tangibles, etc.), mettre à jour les salles machines. **Il faut être opportuniste et savoir être à l'écoute des appels à projets pour garantir les meilleures conditions de travail aux étudiants.** En recherche, c'est encore plus vrai et encore plus compliqué, mais le fait d'avoir déjà une expérience à moindre échelle donne plus d'assurance pour des projets plus ambitieux. Parmi tous les projets déposés, je citerai le plus important pour moi et le plus récent (2019) qui combine enseignement et recherche : le projet PITEC (Plateforme Immersive TEchnologique Connectée). C'est un projet d'un montant total de 150k€ visant à créer une salle dédiée à l'innovation pour disposer de plusieurs postes immersifs (en réalité virtuelle, réalité mixte, réalité augmentée, interfaces tangibles augmentées et interfaces haptiques) permettant la conception de nouvelles techniques d'interaction. C'est une plateforme de développement et de tests pour mon équipe de recherche, mais aussi pour accueillir des étudiants travaillant sur des projets dans le cadre de leur formation (essentiellement de niveau Master). Elle servira aussi de vitrine pour nos futurs partenaires ainsi que pour les journées portes ouvertes afin de montrer à nos futurs étudiants le potentiel de notre formation ;
- savoir diffuser l'informations aux étudiants. J'ai toujours fait de nombreuses réunions d'informations (réunion de rentrée, réunion sur les stage, réunion sur la poursuite d'études) et j'utilise la plateforme de cours en ligne pour gérer les intranets des filières (L2 informatique, L3 informatique et M2 informatique IHM). Je peux ainsi communiquer toutes les informations pédagogiques utiles pour les étudiants : emploi du temps, calendrier pédagogique, diapositives des différentes réunions faites (réunions de rentrée, sur le stage, sur l'offre de formation, sur la présentation des options, etc.), résultats de sondages (choix des projets de synthèse), documents de cours d'intervenants extérieurs, informations sur les stages (adresses d'entreprise, offres de stage, barème pour soutenance et rapport, etc.). La mise en place d'intranets permet aussi de transférer mes connaissances sur la formation plus facilement à mes successeurs. C'est ainsi que j'ai pu facilement transmettre toutes les informations pour la gestion de la 3^{ème} année de licence en 2013 à mon successeur. Savoir diffuser correctement les informations et capitaliser les connaissances est évidemment essentiel en recherche et fait partie d'une qualité essentielle d'un habilité à diriger les recherches.
- servir de lien avec les entreprises. Cette activité est un atout doublement exploitable en recherche. D'une part, cela permet **d'aider les étudiants en thèse à se projeter dans leur avenir professionnel.** Le but est de les amener aussi vers un métier. J'organise régulièrement depuis 2016 des visites d'entreprises innovantes et centres de recherche pour les M2 IHM et depuis 2013 j'organise la présentations d'entreprises pour les M2 informatiques (une trentaine d'entreprises par an). D'autre part, **garder le contact avec les entreprises est aussi intéressant pour la recherche lorsqu'on recherche des entreprises pour des thèses CIFRE ou des partenaires industriels pour des projets innovants.**

5.1.2.2. Implication dans l'offre de formation

La vie pédagogique de mon université m'intéresse. Pour y participer activement, je fais partie des équipes de formation et du conseil du département informatique. **Suivre l'offre de formation et son évolution, pouvoir faire part de mon expérience pour améliorer la qualité est essentiel.**

Pour avoir une bonne formation, il faut aussi avoir de bons étudiants. Il m'a donc paru important de participer activement aux différentes commissions d'admission (DEUST TIC, L2 informatique, L3 informatique, M1 et M2 informatique). Les « bons » étudiants ne sont pas forcément ceux qui ont le meilleur dossier en venant à l'Université ;

ce sont aussi ceux qui viennent parce qu'ils en ont envie, parce que la formation les intéresse. Pour capter ce public, je m'investis chaque année dans la promotion de l'offre de formation afin d'attirer un maximum d'étudiants de qualité :

- participation à différents forum (Oriaction, Studirama, Journées Portes ouvertes, Clé de la réussite etc.) ;
- organisation de réunions d'information sur l'offre de formation Master (pour L3 et M1 informatique, DUT informatique et DUT STID) ;
- participation à des manifestations pour intéresser les jeunes aux sciences (fête des sciences, salon de la découverte).

J'ai à cœur d'aider les étudiants à s'intégrer à l'Université et à améliorer leurs méthodes de travail. Pour y parvenir, j'ai participé à plusieurs reprises au processus des enseignants référents mis en place dans le cadre du plan réussite en Licence. J'ai suivi au total 23 étudiants de L1 individuellement entre 2010 et 2013 : mon rôle était de les guider dans leur choix d'étude et surtout de m'assurer qu'ils adoptent les bonnes méthodes de travail. **L'enseignant référent a donc un rôle de conseil, ce qui est aussi une qualité indispensable lorsqu'on dirige une thèse.**

5.2. Implication dans la vie administrative

Parallèlement à mes activités pédagogiques et de recherche, j'ai souhaité mieux connaître mon administration. Ainsi, j'ai commencé par intégrer le conseil de l'UFR MIM pendant 8 ans en tant que membre élu. Ensuite, j'ai eu l'opportunité de me présenter au conseil du pôle scientifique AM2I (Automatique Mathématiques Informatique et leurs Interactions) de l'Université de Lorraine. C'est une place que j'occupe en tant que membre élu depuis maintenant 7 ans (mon mandat s'arrêtera en 2021). Cela me permet de participer aux décisions sensibles concernant les budgets liés à la Recherche et les profils de poste.

Faire partie de ces conseils m'a permis de mieux comprendre les aspects administratifs liés aux activités de recherche.

Parmi les tâches collectives plus ponctuelles, j'ai pu expérimenter en tant que président les jurys pour les concours IGE/IGR de mon Université. Une équipe de recherche appliquée comme celle dans laquelle je suis a besoin d'ingénieur de recherche ; **il est important de participer au processus de recrutement et de permettre à l'Université de disposer de suffisamment de volontaires pour participer aux jurys afin que tout se passe dans les meilleures conditions.**

Plus récemment (début 2019), j'ai accepté d'être référente entreprise pour l'UFR MIM. J'ai donc intégré le réseau UL Connect de l'Université de Lorraine. C'est une tâche qui va me permettre d'avoir une plus grande visibilité sur la demande des entreprises et je vais pouvoir aussi favoriser la diffusion des offres tant du côté pédagogie que recherche.

5.3. Synthèse des activités de recherche

5.3.1. Présentation chronologique

Mes activités de recherche ont toujours été centrées autour de l'IHM (Interaction Humain-Machine). J'ai commencé ces activités dans le domaine de la CAO (Conception Assistée par ordinateur) au LRIM (Laboratoire de Recherche en Informatique de Metz). Ma thèse, intitulée « Contribution à la définition et à la mise en œuvre d'un dialogue adaptatif pour la CAO » en 1997 m'a permis de montrer qu'il était possible de générer un dialogue homme-machine à partir d'un formalisme adapté à un concepteur inexpérimenté dans la modélisation du dialogue en CAO. Mon but était de proposer des solutions qui demandaient un minimum d'efforts de la part du concepteur. J'ai également introduit le concept de « manipulateurs », technique d'interactions permettant de modéliser et visualiser les outils à mettre à disposition de l'utilisateur en fonction de ses compétences dans le domaine de la Réalité Virtuelle. La modélisation de l'utilisateur associée au concept des manipulateurs a permis d'envisager de nouveaux types d'aides dans le dialogue (par exemple, anticipation des outils virtuels à mettre à disposition de l'utilisateur et intégration de ces outils aux objets pour favoriser leur utilisation). Toute cette période m'a permis de réaliser quelques publications [IP31][IP32][IP33][IP42][IP43].

Après ma thèse, j'ai continué un peu à travailler dans le domaine de la CAO en me tournant plus vers l'étude et l'amélioration des interactions proposées aux utilisateurs des systèmes de CAO [IP8][IP9][IP30][IP42][IP47]. Pendant cette période mon laboratoire, le LRIM a été renommé en LITA (Laboratoire d'Informatique Théorique et Appliquée). Puis, j'ai dû interrompre temporairement mes activités en 2000 pour la naissance de mon premier enfant. À mon retour, j'ai voulu étendre mes travaux en IHM à toute la communauté et ne plus rester enfermée dans le monde de la CAO. J'ai commencé par m'intéresser au retour haptique pour améliorer l'apprentissage des mathématiques pour les enfants déficients visuels [IP7][IP29][IP41]. Peu avant mon second congé maternité en 2003, l'équipe à laquelle je

Chapitre 5 - Synthèse des activités d'enseignement, administratives et de recherche

faisais partie a été sollicitée par un chercheur de mon laboratoire, Maurice Margenstern, pour travailler avec lui sur les espaces hyperboliques dans le but de trouver des applications les utilisant et proposer de nouvelles techniques d'interactions. C'est ainsi que jusqu'en 2004, j'ai essentiellement travaillé sur le domaine des espaces hyperboliques : d'abord du point de vue théorique [IP4][IP25][IP26][IP27][IP28], puis du point de vue plus pratique et surtout plus proche de mon centre d'intérêt qu'est l'IHM [IP40].

À partir de 2004, mon équipe a pu participer au projet européen MICOLE IST-2003-511592 du 6ème PCRDT. Mes activités dans ce projet consistaient à proposer une architecture multimodale permettant de concevoir des applications interactives pour des enfants déficients visuels [IP21], puis à mettre en place une application utilisant de nouvelles techniques d'interactions [IP5][IP38]. J'ai donc à nouveau recentré mes travaux sur l'IHM pour personnes à besoins spécifiques et j'ai pu proposer des solutions en matière de transmissions d'informations en utilisant des techniques d'interactions haptiques innovantes [IP22][IP23][IP24][IP39]. Ce projet m'a permis de participer au co-encadrement de la thèse de Thomas Pietrzak. Après ce projet, j'ai invité l'un des chercheurs partenaire du projet MICOLE, Andrew Crossan pour continuer à travailler sur l'une des techniques d'interactions haptiques : l'étude des tactons [IP3][IP20]. J'ai également commencé à m'intéresser à un autre domaine de l'IHM : l'entrée de texte. J'ai commencé par réaliser un état de l'art sur les claviers logiciels et leurs techniques d'entrée de texte. Ce travail a pu être mis à disposition de la communauté francophone en IHM et sert maintenant souvent de référence à la communauté [IP6]. Pendant plusieurs années, j'ai ensuite travaillé sur un clavier, initialement nommé WeGliss, puis renommé en WeSlide dans sa version optimisée. Il s'agit d'un clavier virtuel contrôlé avec un périphérique gestuel : la Wiimote, dispositif d'entrée de la console de jeu Wii. J'ai introduit une nouvelle technique d'interactions pour saisir des caractères en utilisant le déplacement de la Wiimote [IP48]. J'ai continué à travailler sur le clavier WeSlide en montrant qu'il s'intégrait parfaitement dans le contexte de la Télévision Interactive [IP36]. Ce travail s'est poursuivi pendant une partie de la thèse de Nathan Godard que j'ai co-encadrée. Ensuite, j'ai suivi une partie des membres du LITA (notamment ceux avec qui je travaillais en IHM) pour intégrer un nouveau laboratoire : le LCOMS (Laboratoire de Conception, d'Optimisation et de Modélisation des Systèmes). J'ai pu ainsi rejoindre un laboratoire pluridisciplinaire centré sur les systèmes orientés vers l'homme. J'ai continué à travailler sur le clavier WeSlide avec mon étudiant et nous avons pu l'améliorer pour qu'il puisse être accessible aux personnes âgées [IP19]. Mon intégration au LCOMS m'a aussi permis de travailler avec des collègues automaticiens spécialisés dans le handicap [IP2][IP35].

Jusqu'à mi 2017, j'ai participé au projet européen eGlasses qui portait sur la mise en place de nouvelles techniques d'interaction dans le contexte des lunettes interactives. Quelques publications auxquelles j'ai participé sont disponibles [IP1][IP11][IP16][IP17][IP18]. Les travaux sur ce projet se sont poursuivis jusqu'à présent à travers la thèse d'Ilyasse Belkacem qui a démarré au cours du projet. Pour l'instant, les relecteurs nous demandent des modifications avant de statuer. Nous avons ensuite démarré une collaboration qui se poursuit toujours aujourd'hui avec le professeur Anthony Faiola du laboratoire de sciences biomédicales et d'information de santé (Department of Biomedical and Health Information Science) situé à l'Université de l'Illinois à Chicago pour bénéficier de son expertise sur l'usage des nouvelles technologies dans le contexte médical. Ilyasse Belkacem a pu partir 3 mois (du 30 juin 2018 au 30 septembre 2019) chez le professeur Faiola afin de tester les nouvelles techniques d'interaction que nous avons proposées dans le cadre du projet eGlasses, auprès du personnel hospitalier affilié à l'Université de Chicago. Le fruit de cette collaboration a permis de rédiger plusieurs articles acceptés dans des conférences [IP10][IP12][IP14][IP15].

À la fin du projet eGlasses, j'ai voulu relancer mes activités de recherche laissées en suspens depuis 2007 sur l'utilisation de techniques d'interactions haptiques pour l'aide aux personnes déficientes visuelles. J'avais pour cela soumis le projet de recherche CROISADE (CRéation d'OutILS pour l'Acceptation du hanDicap VisuEl) avec financement de thèse dans le cadre de l'appel à projets de recherche « Handicap et perte d'autonomie » de l'IReSP (Institut de Recherche en Santé Publique). Cet appel à projets s'inscrivait dans un programme annuel de soutien à la recherche sur le handicap et la perte d'autonomie et était financé par la CNSA (Caisse Nationale de Solidarité pour l'Autonomie). Le projet CROISADE devait regrouper 2 laboratoires de l'Université de Lorraine (LCOMS sur Metz dont je fais partie et Interpsy sur Nancy) et un laboratoire de l'Université de Toulouse (IRIT) et en particulier Christophe Jouffrais que j'avais invité lors d'un séminaire en 2017. Le but du projet était de fournir une plateforme d'outils informatiques pour améliorer la capacité de personnes adultes devenues aveugles à rebondir face au traumatisme de l'annonce du handicap visuel. J'avais également reçu le soutien moral de l'Association des Auxiliaires des Aveugles de Moselle et de la MDPH (Maison Départementale des Personnes Handicapées) de Moselle. J'avais prévu de travailler en étroite collaboration avec l'association pour bénéficier de leur expérience et de l'aide de leurs adhérents déficients visuels. Les résultats de l'appel devaient être annoncés fin décembre 2017. Dans l'hypothèse où ce projet serait accepté, j'avais déposé une demande

Chapitre 5 - Synthèse des activités d'enseignement, administratives et de recherche

de CRCT pour le second semestre 2017-2018 afin de dégager du temps pour m'y consacrer. J'ai réussi à obtenir un CRCT sur le contingent national pour la période février 2018- Août 2018. Malheureusement, le projet n'a pas été retenu bien que suscitant un fort potentiel de la part des experts. Pendant mon CRCT, j'ai cherché à renforcer mon projet par de nouvelles collaborations, comme notamment le soutien d'une autre association : le GIAA (Groupement des Intellectuels Aveugles ou Amblyopes). J'ai ensuite déposé le projet CROISADE pour l'appel à projet général de la FIRAH (Fondation Internationale de la Recherche Appliquée sur le Handicap). En attendant le retour de cet appel (qui en définitive n'a pas été positif), j'ai démarré une étude de terrain auprès des deux associations autour de l'intérêt du Braille aujourd'hui et de son apprentissage.

Mes conclusions ont été que le Braille a toujours un intérêt aujourd'hui, même si peu le pratiquent et l'apprennent, car il permet entre autres de structurer la pensée. Le Braille est mal intégré dans les nouvelles modalités d'usage ; la synthèse vocale étant privilégiée pour des raisons de simplicités, mais pas forcément pour des raisons d'utilisabilité. J'ai donc réfléchi à cette problématique et depuis la fin de mon CRCT, j'ai commencé une collaboration inter équipe (avec des électroniciens) dans mon laboratoire pour concevoir un nouveau périphérique qui permettrait de nouveaux usages du Braille avec les technologies mobiles. Pour l'instant, ce travail n'est qu'à ses débuts, en phase exploratoire avec des projets d'étudiants en électronique. Il s'intègre dans le projet CROISADE plus global (qui sera resoumis pour financement plus tard) comme indiqué dans mon projet de recherche (cf. 4.4).

Mon CRCT m'a permis aussi d'encadrer Ilyes Kadri en stage M2 recherche sur un sujet connexe avec celui d'Ilyasse Belkacem : la génération d'interfaces à base de tuiles. C'est une problématique que nous avons rencontrées pendant le projet eGlasses et qui avait donné lieu à une première publication [IP16]. Suite à cet encadrement, j'ai réussi à obtenir un contrat doctoral du Ministère pour qu'Ilyes puisse continuer en thèse dès octobre 2018. Son sujet est dans la poursuite de son stage de M2 : « Nouvelle famille de placement en deux dimensions pour la visualisation des menus sur un écran ». J'ai donc naturellement continué à l'encadrer officieusement. À partir des travaux engagés pendant son stage de M2, les premiers mois de thèse lui ont permis d'avoir un article accepté à la conférence CoDIT'19 [IP13]. J'ai obtenu une ACT (Autorisation à Codiriger une Thèse) pour pouvoir l'encadrer officiellement.

Fin 2018, j'ai relancé des recherches sur l'aide aux patients aphasiques suite à un AVC. J'avais en 2016-2017 étudié avec un groupe d'étudiants de Master quelques pistes à explorer dans ce contexte dans le cadre d'une initiation à la recherche. J'ai repris ce travail avec un second groupe d'étudiants et nous avons pris des contacts avec des orthophonistes et en particulier le centre de réadaptation de Lay St Christophe. Ces démarches m'ont permis de déposer une demande de contrat doctoral fléché handicap sur le sujet pour un étudiant de M2 informatique en situation de handicap et intéressé par une thèse sur le sujet. Classé premier au niveau de l'Université de Lorraine, le Ministère lui a accordé un contrat doctoral pour démarrer en Octobre 2019.

En Juin 2019, j'ai eu l'opportunité de prendre en charge la préparation du projet Techno'Guide pour répondre dans un premier temps à l'AMI (Appel à Manifestation d'Intérêt) « Sport de très haute performance » avant de répondre à l'appel à projets de l'ANR fin Juillet 2019. Dans le cadre des futurs Jeux Olympiques et Paralympiques de 2024 organisés à Paris, la France ambitionne de doubler le nombre de médailles remportées aux dernières olympiades. Pour y parvenir, l'État a décidé de financer à hauteur de 20 millions d'euros des projets visant à améliorer la performance sportive des meilleurs athlètes olympiques et paralympiques français pour les Jeux en 2024. À partir des forces existantes dans mon laboratoire et des expériences déjà menées dans le cadre d'un projet de fin d'étude par un collègue en électronique autour de l'aide à l'entraînement d'un athlète déficient visuel, j'ai organisé des réunions de travail pour préparer un projet recherche de plus grande envergure visant à répondre au futur appel à projet de l'ANR. Nous sommes partis du rapport 2018 sur la haute performance, demandé par le Ministère des Sports, qui a révélé des moyens limités pour le handisport français par rapport aux autres pays : moins de personnels pour aider aux différentes tâches et moins de moyens financiers. Dans ces conditions, il est difficile d'avoir une préparation optimale. Le projet Techno'Guide s'intéresse à la préparation des coureurs déficients visuels. Actuellement, un coureur a besoin d'un guide plus performant que lui pour s'entraîner à son rythme de course. À un haut niveau, il est d'autant plus difficile de trouver des guides performants que le nombre d'entraînements demande une grande disponibilité : l'athlète fait appel à plusieurs guides, ce qui ne garantit pas une continuité dans les entraînements. Le projet Techno'Guide va permettre à un athlète de courir seul sur la piste pour s'entraîner et améliorer ses performances en utilisant des techniques d'interaction innovantes. Pour mener à bien ce projet, j'ai réuni des compétences pluridisciplinaires à travers deux laboratoires (LCOMS de l'Université de Lorraine et IRT de l'Université de Toulouse), des partenaires du monde du sport (Moselle Sport Académie gérée par l'entreprise G&A en lien avec les sportifs et entraîneurs handisports et la Fédération

Chapitre 5 - Synthèse des activités d'enseignement, administratives et de recherche

Française Handisport), ISEETECH (association en lien avec le monde socio-économique) et MAT Electronique (entreprise spécialisée en électronique). Ce consortium s'intéressera :

- à l'électronique embarquée sur le coureur pour gérer toutes les informations nécessaires à une course autonome ;
 - à déterminer les techniques d'interaction (en entrée et en sortie) les plus adaptées à l'utilisateur afin qu'il se concentre sur sa course et s'entraîne pour améliorer ses performances
 - à l'optimisation et l'ordonnancement pour avoir des temps de calcul acceptables pendant la course et disposer des meilleurs algorithmes de décision.
- au handisport et plus particulièrement à l'expérience des meilleurs coureurs déficients visuels qui participeront tout au long du projet.

Ce projet n'a finalement pas pu être déposé pour l'appel ANR, car il fallait inclure en tant que partenaire la Fédération Française Handisport qui ne pouvait pas car déjà engagée dans plusieurs autres projets pour cet appel. Le projet a donc été déposé à l'AMI Grand Est sur l'économie numérique : il a déjà passé la phase de pré-sélection et se trouve maintenant engagé dans la phase finale dont les résultats seront annoncés début 2020.

5.3.2. Encadrements d'étudiants

5.3.2.1. Co-direction de thèse

En tant que maître de conférences non habilité à diriger les recherches, pour chaque thèse j'ai dû faire une demande d'Autorisation à Co-encadrer la Thèse (ACT) à l'exception de la première, celle de Thomas Pietrzak car à l'époque je n'avais pas été informée d'une telle procédure. Après évaluation de mon dossier, le conseil scientifique sur avis de l'école doctorale IAEM m'a délivré à chaque fois une ACT. C'est un point important puisque les experts scientifiques de mon université ont jugé déjà à quatre reprises ces dernières années que j'étais en capacité de co-encadrer une thèse. Depuis octobre 2019, je co-encadre un nouvel étudiant en thèse, Oussama Ben Aziza pour lequel je n'ai pas demandé d'ACT étant donné la procédure d'HDR en cours. Je me suis investie dans toutes les thèses à hauteur de 50%.

5.3.2.2. Thèses de doctorat co-encadrées

1. Étude de nouvelles techniques d'interactions haptiques, tangibles et mixtes pour la rééducation de personnes aphasiques.

- Étudiant : Oussama Ben Aziza.
- Directeur de thèse : B. Martin (50%).
- Début de thèse : 01/10/2019.
- Soutenance prévue : 01/10/2022.
- Résultats : Oussama Ben Aziza vient tout juste de démarrer sa thèse. Il démarre un état de l'art.
- Financement : contrat doctoral « handicap » du Ministère.

2. Nouvelle famille de placement en deux dimensions pour la visualisation des menus sur un écran.

- Étudiant : Ilyes Kadri.
- Directeur de thèse : B. Martin (50%).
- Début de thèse : 01/10/2018.
- Soutenance prévue : 01/10/2021.
- Résultats : Ilyes Kadri a commencé sa thèse il y a un an est déjà une publication [IP13]. Il est actuellement en train de préparer une publication dans une revue.
- Financement : contrat doctoral du Ministère.

3. Étude de nouvelles techniques d'interaction en situation de mobilité avec des lunettes électroniques pour le domaine de la santé

- Étudiants : Ilyasse Belkacem (/Jérôme Forrier).
- Directeur de thèse : B. Martin (50%).
- Début de thèse : 11/04/2016 (01/01/2015).
- Soutenance : 20/05/2019.

Résultats : Ilyasse Belkacem a soutenu sa thèse le 20 mai 2019. Depuis Juin 2019, il est en Post-Doc au LIST (Luxembourg Institute of Science and Technology) au Luxembourg. Tous ses travaux ont été publiés [IP10][IP11][IP12][IP14][IP15][IP16][IP34].

- Financement : co-financement projet européen eGlasses et co-financement Région.
- Remarque : une thèse sur le même sujet avait démarrée en janvier 2015 avec comme étudiant Jérôme Forrier. J'avais obtenue également une ACT. N'ayant pas de financement de thèse initialement prévu dans ce projet, j'ai réussi à

obtenir un co-financement de la région Lorraine pour me permettre de démarrer l'encadrement d'une nouvelle thèse. Malheureusement, après 8 mois de travail et une publication [IP18], l'étudiant est tombé gravement malade et s'est éteint en novembre 2016. À partir du mois d'avril 2016, j'ai réussi à recruter un nouvel étudiant, Ilyasse Belkacem, pour reprendre les travaux de thèse de Jérôme Forrier. Nous étions dans l'obligation de poursuivre le travail, car il était à faire dans le cadre du projet européen eGlasses qui ne pouvait attendre le retour de maladie de Jérôme Forrier. Nous avons mis donc en attente la thèse de Jérôme Forrier pour lui permettre de la terminer s'il revenait, ce qui n'a malheureusement pas pu être le cas. Depuis avril 2016, j'ai pu reprendre un encadrement de thèse normal.

4. Contribution à l'amélioration de l'entrée de texte en situation « dégradée »

- Étudiant : Nathan Godard.
- Directeur de thèse : B. Martin (50%).
- Début de thèse : 01/09/2010.
- Thèse abandonnée : 06/2014.
- Résultats : L'étudiant a renoncé à soutenir pour raisons personnelles alors qu'il était en phase de rédaction et avait 6 publications sur son travail.
- Financement : contrat doctoral du Ministère.
- Remarque : ce n'est qu'au milieu de sa thèse (en 2012) que j'ai réellement commencé à travailler avec cet étudiant, ce qui explique que sur ses 6 publications, je n'ai cosigné qu'une seule publication [IP19]. J'ai travaillé avec lui sur un nouveau clavier logiciel sur lequel j'avais déjà initié quelques recherches [IP36][IP48]. Nous avons pu l'améliorer et surtout l'adapter à un contexte particulier : celui de la télé interactive pour des personnes âgées.

5. Contributions à la dissémination d'informations haptiques dans un environnement multimodal

- Étudiant : Thomas Pietrzak
- Directeur de thèse : M. Margenstern
- Encadrants réels : B. Martin (50%) et I. Pecci (50%)
- Début de thèse : 01/12/2005.
- Thèse soutenue : 02/12/2008.
- Résultats : Thomas Pietrzak est actuellement maître de conférences à l'Université de Lille. Sa thèse est le fruit du travail effectué dans le cadre du projet européen MICOLE. Il a contribué à la définition d'une architecture multimodale pour des applications à destination d'enfants déficients visuels et a proposé une de ces applications : une application innovante permettant l'apprentissage de circuits électriques. Les nouvelles techniques d'interaction qu'il a proposées, appelées PICOB et Tactons, utilisent un retour haptique spécifique permettant de ressentir le circuit. Ses travaux ont donné lieu à plusieurs publications [IP3][IP5][IP20][IP21][IP22][IP23][IP37][IP38][IP39].
- Financement : cofinancement région et projet européen.
- Remarque : Maurice Margenstern a dirigé officiellement cette thèse pour permettre à B. Martin et moi-même de l'encadrer car nous n'étions pas habilités à diriger les recherches (depuis B. Martin est professeur des universités). Il n'a pas participé réellement à l'encadrement, car il n'était pas du tout dans le domaine de l'IHM et en était très éloigné puisque ses activités portent sur les espaces hyperboliques. À l'époque, nous n'avions pas été informés des procédures d'ACT, ce qui fait que nous avons encadré officieusement sa thèse. Toutefois, nos noms figurent en tant qu'encadrants sur le mémoire de thèse.

5.3.2.3. Autres encadrements sur des sujets de recherche

Tous les sujets d'initiation à la recherche que j'ai pu proposer sont liés à mes principales thématiques de recherche.

Aide à la réhabilitation de personnes aphasiques suite à un AVC

L'initiation à la recherche m'a aussi permis d'explorer d'autres thèmes de recherche dans le but de monter de nouveaux projets et en particulier autour de l'aphasie. J'ai étudié en 2016-2017 avec un groupe d'étudiants de Master quelques pistes à explorer dans ce contexte dans le cadre d'une initiation à la recherche. J'ai repris ce travail avec un second groupe d'étudiants et nous avons pris des contacts avec des orthophonistes et en particulier le centre de réadaptation de Lay St Christophe. Ces démarches m'ont permis de déposer une demande de contrat doctoral fléché handicap sur le sujet pour un étudiant de M2 informatique en situation de handicap et intéressé par une thèse sur le sujet.

Voici la liste des sujets et étudiants encadrés dans ce contexte :

- Mathilde Oun et Anthony Pierron, IHM et Aphasie, 2018-2019. M1 informatique.

Chapitre 5 - Synthèse des activités d'enseignement, administratives et de recherche

- Cindy Binder et Aurélien Mangin, État de l'art sur les aides pour la réhabilitation des personnes aphasiques, 2016-2017. M1 informatique.

Génération contextuelle d'Interfaces à bases de tuiles

Ce travail fait suite au projet eGlasses pour approfondir la question de la génération automatique d'interfaces à bases de tuiles dont une ébauche a été présentée dans [IP16]. Le sujet a été proposé en stage M2 de fin d'études et a permis d'étudier plus précisément des algorithmes de décision et surtout de permettre la préparation d'une demande de contrat doctoral pour cet étudiant qu'il a obtenu :

- Ilyes Kadri, Étude d'algorithmes pour générer des interfaces à base de tuiles, 04/2018-09/2018, M2 informatique.

Projet eGlasses

Étant peu de chercheurs impliqués dans le projet eGlasses, début 2014, j'ai dû me consacrer exclusivement à ce projet. Nous devons étudier les nouvelles techniques d'interactions possibles avec des lunettes interactives dans le domaine de la santé. La principale difficulté dans ce projet a été que les lunettes sur lesquelles nous devons faire des propositions devaient être conçues la première année du projet par notre partenaire polonais, porteur du projet. Malheureusement, nous n'avons eu à disposition qu'un prototype assez limité que la dernière année du projet, en janvier 2016. Avec le manque de moyens humains, nous avons dû agir vite pour mettre en place quelques-unes de nos propositions. J'ai donc profité du module d'Initiation à la Recherche en première année de master informatique pour encadrer plusieurs sujets autour du projet eGlasses. Avec un encadrement bien ciblé, j'ai pu aboutir à une publication [IP17] et à plusieurs travaux qui ont pu donner des pistes intéressantes pour le projet et les travaux de mon étudiant en thèse, Ilyasse Belkacem, notamment autour des méthodes de visualisation de type Fisheye qui nous a permis plus tard de faire une publication [IP16]. Voici la liste des encadrements dont les sujets sont connexes avec le projet eGlasses. À noter que certains datent d'avant le démarrage du projet, mais ils ont pu servir d'amorces pour le projet.

- Solène Schuster, Adaptation du clavier fisheye au concept des tuiles, 11/2015-05/2016, M1 informatique.
- Imed Maamria, Taylan Agbulut et Quang Dong Oliver Tran Quang, Étude de techniques d'optimisation, 11/2015-05/2016, M1 informatique.
- Thibault Guisse et Gabriel Martino, Le fisheye et les interfaces à tuiles, 11/2015-05/2016, M1 informatique.
- Dorian Kaced et Simon Maxime, Étude de la technique du carrousel, 11/2015-05/2016, M1 informatique.
- Arnaud Girard et Jeffrey Poirot, Étude de l'interaction grand écran déportée sur tablette, 11/2015-05/2016, M1 informatique.
- Gautier Hupays et Jérémy Nenich, Application de gestion de messages d'urgence, 10/2014-03/2015, M2 informatique.
- Pierre Bolzinger, Apprentissage des gestes de premiers secours, 10/2014-03/2015, M1 informatique.
- Attil Kahina et Ahlem Amnache, Étude de la technique d'interaction Fisheye, 11/2011-05/2012, M1 informatique.
- Samir Gendoul et Karim Hameladji, Étude de la technique du carrousel, 11/2011-05/2012, M1 informatique.

Aide aux personnes déficientes visuelles

Dès l'acquisition de matériels haptiques, j'ai initié des travaux autour de techniques d'interactions pour des personnes déficientes visuelles. Avec le projet MICOLE (2004-2007) et son application d'aide à la reconnaissance de schémas de circuits électriques, les sujets que j'ai proposés par la suite ont été dans la continuité, car ils s'intéressaient principalement à la problématique du guidage adaptatif lors de l'interaction pour reconnaître différents types de formes (circuits électriques, polygones, etc.).

- Pauline Fisher et Aurore Lambin, Simulateur de parcours de polygones pour des personnes déficientes visuelles, 11/2014-03/2015, M2 informatique.
- Abdessamed Benkaddour, Etude de guidage intelligent de formes : application aux circuits électriques, 04/2010-09/2011, M2 informatique.
- Amar Guerrache, Modélisation des techniques de parcours réalisés par des personnes déficientes visuelles pour reconnaître des polygones, 03/2012-08/2012, M2 informatique.
- Mathieu Da Costa et Rémi Mastroforti, Application de géométrie pour élèves déficients visuels, 10/2014-03/2015, M2 informatique.
- Grégory Hoenen et Vincent Mondaud-Wysocki, Apprentissage de trajets pour déficients visuels, 11/2013-05/2014, M1 informatique.
- Julien Dhalenne et Zhendong Wu, Aide au guidage pour déficients visuels, 11/2013-05/2014, M1 informatique.

Chapitre 5 - Synthèse des activités d'enseignement, administratives et de recherche

- Gautier Hupays et Jérémy Nenich, Application de géométrie pour élèves déficients visuels, 11/2013-05/2014, M1 informatique.
- Célia Lecoeuvre et Nicolas Matthieu, Application de géométrie pour élèves déficients visuels, 10/2012-03/2013, M2 informatique.
- Ensuifudine Omar et Othmane Senouci, étude du guidage intelligent de polygones, 11/2010-05/2011, M1 informatique.
- Flavien Rossignol, étude de guidage intelligent de formes : application aux circuits électriques, 11/2009-05/2010, M1 informatique.
- Medhi Assekour et Ariane Kelle, Patrons multimodaux pour aider une personne déficiente visuelle à concevoir un site web, 10/2008-03/2009, M2 informatique.
- Maël Cornil et Laurent Bretnacher, Conception d'un système collaboratif basé sur un dispositif de visualisation 3D avec interactions haptiques, 10/2007-03/2008, M2 informatique.
- Mickaël Barbasso, Amélioration de l'application Tortue haptique, 06/2005-09/2005, Maîtrise informatique.
- Erwan Malik, Apprentissage de la représentation multidimensionnelle pour les élèves non-voyants, 01/2001-06/2001, DEA informatique.
- Frédéric Danesi, L'esquisse 3D, 01/1999-06/1999, DEA informatique.

L'entrée de texte

En connexion directe avec mes travaux sur l'entrée de texte, j'ai expérimenté de nouvelles techniques pendant des travaux d'initiation à la recherche. Celle du clavier WeGliss ayant un fort potentiel, j'ai continué à travailler dessus dans le cadre de la thèse de Nathan Godard. Plusieurs publications en sont ressorties [IP19][IP36][IP48].

- Tine Norbert Kondo, Retour pseudo-haptique pour la saisie de texte, 11/2009-05/2010, M1 informatique.
- Damien De Gend et Remi Manzini, Clavier gestuelle avec la wiimote, 11/2009-05/2010, M1 informatique.
- Alexandre Oberst et Guillaume Laas, Améliorations du clavier WeGliss, 11/2009-05/2010, M1 informatique.
- Jérôme Bier, Clavier gestuelle avec la wiimote, 11/2008-05/2009, M1 informatique.
- Halima Sidaty Gaye, Aide au tracé de type Unistroke, 03/2008-07/2008, M2 informatique.
- Christophe Gilles et El Hassane Oumina, Clavier haptique Push&Pull, 10/2012-03/2013, M2 informatique.
- Imade Bouglouf et Alexandre Oberst, Améliorations du clavier WeGliss, 10/2010-03/2011, M2 informatique.

5.3.3. Animation recherche et rayonnement scientifique

La Recherche implique des échanges avec la communauté scientifique. Une visibilité nationale et internationale est incontournable. J'ai pu organiser en 2001 les JIM (Journées d'Informatique de Metz) autour de l'IHM afin de rassembler les chercheurs en IHM et surtout me faire connaître. J'ai ensuite intégré la communauté francophone en IHM en adhérent à l'AFIHM, association regroupant les principaux chercheurs francophones du domaine (Joëlle Coutaz-Grenoble, Laurence Nigay-Grenoble, Michel Beaudouin-Lafon-Paris, Jean-Daniel Fekete-Paris, Philippe Palanque-Toulouse, Franck Poirier-Brest, Christophe Kolski-Valenciennes, etc.). C'est en intégrant le CA de l'AFIHM et en prenant la fonction de trésorière que j'ai pu me faire connaître de cette communauté. L'AFIHM m'a donné l'opportunité d'organiser en 2008 la conférence IHM et en 2010 la rencontre pour jeunes chercheurs en IHM. Récemment, fin décembre 2018, j'ai créé un groupe de travail soutenu par l'AFIHM autour de l'IHM dans le domaine de la Santé. Ce groupe regroupe depuis sa création 95 membres. Je compte organiser chaque année des ateliers et permettre à la communauté IHM de collaborer plus étroitement autour de ce domaine de la Santé. Pour l'année 2019, j'ai d'ailleurs organisé :

- le 14 Mai 2019 à Metz une journée pour une première vision de la recherche en IHM autour de la Santé. Cette journée a regroupé une quarantaine de personnes (Angers, Caen, Grenoble, Metz, Nantes, Paris, Toulouse, Troyes et Valenciennes) et six invités étrangers (Lille, Paris, Angleterre, Suède et Suisse).
- le 10 décembre 2019 à Grenoble un atelier intitulé « Projets dans le domaine de la Santé - retours d'expérience » dans le cadre de la conférence IHM 2019. L'objectif de cet atelier est de lancer un premier travail pour consolider notre réseau et de voir comment construire une cartographie utile pour tous les chercheurs en IHM dans le domaine de la Santé. Cet atelier inclut également une visite du CEA de Grenoble pour découvrir leurs projets autour de la Santé.

Me spécialisant au fil des années au domaine du handicap, j'ai intégré depuis 2012 l'IFRATH (Institut Fédératif de Recherche sur les Aides Techniques pour Personnes Handicapées). De plus, j'ai aussi entretenu des échanges avec la communauté scientifique nationale en participant à différents groupes de travail (Consortium TACT de DEFISENS-CNRS,

Chapitre 5 - Synthèse des activités d'enseignement, administratives et de recherche

Réseau Thématique Pluridisciplinaire n° 15-Action Spécifique N°131) et en invitant des chercheurs comme Christophe Jouffrais de l'IRIT (Toulouse), chercheur reconnu dans le domaine des IHM pour les personnes déficientes visuelles.

Au niveau international, j'ai participé à deux projets européens (MICOLE et eGlasses) qui m'ont permis de collaborer avec des chercheurs reconnus en IHM comme Stephen Brewster (GIST, Glasgow), Roope Raisamo (TAUCHI, Finlande), Poika Isokoski (TAUCHI, Finlande), Mickaël Haller (MIL, Autriche), Charlotte Magnusson (CERTEC, Suède), etc. Les collaborations sont allées au-delà des projets, comme avec l'invitation d'Andrew Crossan suite au projet MICOLE. Cette invitation a donné lieu à une publication majeure dans une revue [IP3].

Ma visibilité nationale et internationale peut aussi être identifiée à travers les rapports d'expertise demandés par la communauté scientifique sur des projets (COFECUB, Comité Français d'Evaluation de la Coopération Scientifique et Universitaire avec le Brésil, ANR), la participation à un jury de thèse en tant qu'examinateur ou sur des articles pour des conférences nationales et internationales (IHM, CHI, Interact, ECIS, EuroHaptics, FedCSIS). J'ai également été sollicitée pour être membre de comités scientifiques de conférences nationales (IHM et ERGO IHM).

La diffusion du savoir passe aussi par la vulgarisation de la recherche. J'ai eu la chance de pouvoir participer à différentes manifestations grand public en animant des ateliers (Fête des sciences et Salon de la découverte).

Chapitre 5 - Synthèse des activités d'enseignement, administratives et de recherche

Conclusion

Ce mémoire retrace plus de vingt ans de carrière en tant que maître de conférences. J'ai connu trois laboratoires : le LRIM (Laboratoire de Recherche en Informatique de Metz) au début de ma carrière dont la thématique phare était la CAO (Conception Assistée par Ordinateur), puis le LITA (Laboratoire d'Informatique Théorique et Appliquée) et enfin le LCOMS (Laboratoire de Conception, d'Optimisation et de Modélisation des Systèmes) dont la particularité et la force est d'être un laboratoire pluridisciplinaire regroupant des compétences en informatique, en automatique humaine, en électronique et en neurosciences. Le changement de laboratoire n'a pas modifié mon axe de recherche : l'IHM (Interaction Humain-Machine). Au contraire, j'ai pu évoluer vers un laboratoire plus en adéquation avec mon axe, puisque le travail en IHM demande des compétences pluridisciplinaires. Ainsi après avoir centré mes activités autour de l'IHM dans le contexte de la CAO juste après ma thèse, j'ai pu élargir mon champs d'applications de l'IHM pour ne pas rester enfermée dans le monde de la CAO. Je me suis ainsi donnée les moyens humains pour travailler dans un contexte favorisant les échanges pluridisciplinaires.

Mes activités de recherche ont porté sur la définition de nouvelles techniques d'interaction pour aider l'utilisateur à réaliser ses tâches. L'utilisateur a toujours été au centre de mes travaux et a contribué à guider mes choix. Par contre, je n'ai pas toujours travaillé avec les mêmes types d'utilisateurs afin d'accroître mon savoir-faire. J'ai retracé dans ce mémoire les trois axes principaux sur lesquels j'ai travaillé : les techniques d'interaction pour les personnes déficientes visuelles (cf. Chapitre 1), les techniques d'entrée de texte pour des situations dégradées (cf. Chapitre 2) et les techniques d'interaction pour les professionnels de Santé (cf. Chapitre 3). Quel que soit l'axe, j'ai toujours cherché à travailler en équipe et à collaborer avec d'autres chercheurs étrangers pour partager nos compétences complémentaires. Dès le début de ma carrière, j'ai été formée à l'encadrement doctoral, car pour chaque axe, j'ai encadré un étudiant.

Mes activités autour de la déficience visuelle ont permis de proposer des techniques d'interaction haptiques pour coder de l'information avec les deux types de retour haptiques possibles :

- Le langage d'interaction PICOB, qui utilise le retour de force. Il permet de définir un code à base d'une suite d'impulsions guidées ou semi-guidées. Dans le mode guidé, l'utilisateur reçoit la suite d'impulsions sans nécessiter de déplacement alors que dans le mode semi-guidé, il doit se déplacer pour ressentir la suite d'impulsions.
- Le langage d'interaction Tacton, qui utilise le retour tactile. Il permet de définir des icônes tactiles à base de matrices à picots statiques, dynamiques ou mixtes. Les tactons statiques offrent à l'utilisateur une image tactile fixe alors que les tactons dynamiques sont animés (la hauteur des picots formant l'image tactile varie). Une version intermédiaire combine ces deux modes : le tacton mixte. Il permet de définir par exemple des points de repère fixes pour situer l'information dynamique.

Ces langages d'interaction ont pu être utilisés dans une application développée dans le cadre du projet européen MICOLE dont le but était de concevoir une plateforme multimodale permettant la conception d'applications destinées à des enfants déficients visuels pour leur permettre de collaborer entre eux et avec des personnes voyantes : une application de reconnaissance de schémas de circuits électriques pour des enfants déficients visuels. Pour mettre en place les techniques d'interaction, nous avons choisi d'appliquer ces langages avec deux périphériques haptiques classiques représentatifs de leur catégorie (un périphérique à retour de force de type bras articulé et un périphérique à retour tactile de type matrices à picots) : le PHANToM pour le langage PICOB et la souris VTPlayer pour le langage Tacon. Cette application nous a permis de tester sous forme multimodale le transfert d'informations. Par exemple, nous avons favorisé la redondance en permettant aux utilisateurs de recevoir la même information avec des modalités différentes. Par exemple, les composants du circuit électrique pouvaient être reconnus via des PICOBs semi-guidés ou des Tactons statiques. Les résultats de nos travaux sur les techniques d'interactions haptiques pour aider des enfants déficients visuels sont encourageants. Ces travaux se sont poursuivis quelques années après le projet MICOLE suite à des collaborations avec certains chercheurs rencontrés dans ce projet. Les domaines de définition des langages définis étant vastes, il sera possible de les utiliser dans de futurs travaux.

Les travaux sur les techniques d'entrée de texte en situation dégradée ont été entrepris un peu après le début du projet MICOLE. Ils ont permis la mise en œuvre du clavier WeSlide qui utilise un dispositif de pointage et un langage d'interaction à base de gestes sur un clavier réduit regroupant quatre caractères par touche. Nous avons testé ce clavier dans plusieurs situations dégradées en définissant différents types de dégradation : l'utilisateur lui-même qui peut être jeune ou âgé, et l'environnement qui correspond à un contexte de loisir dans lequel l'utilisateur est confortablement assis dans son salon et veut interagir simplement avec la TV. Les tests effectués ont montré un fort potentiel et une simplicité d'usage.

Conclusion

Enfin, les derniers travaux de recherche entrepris concernent la mise en place de différents langages d'interaction utilisant des lunettes électroniques pour des professionnels de Santé. Ils s'intègrent dans le projet européen eGlasses dont le but était de concevoir des lunettes électroniques avec un environnement de programmation permettant la mise en place d'application dans le domaine de la Santé. Nous avons défini comme scénario d'usage celui du professionnel de santé en situation de mobilité à l'hôpital qui a besoin à tout moment d'accéder au dossier d'un patient pour consulter des informations ou pour le mettre à jour. Nous avons expérimenté plusieurs techniques : une pour la sortie qui utilise le langage d'interaction K-Fisheye et deux techniques en entrée, pour le pointage et pour la saisie de texte.

Le langage K-Fisheye permet de visualiser la multitude d'informations du dossier patient dans une vue déformée en combinant une vue locale agrandie de l'information consultée, une vue partiellement agrandie des informations sémantiquement reliées à cette information, et une vue globale déformée réduite pour les autres informations. Cette technique n'a pas encore été évaluée en contexte, elle a été montrée à des professionnels de santé. Les avis étaient divisés : une partie jugeait inutile de voir les données sémantiquement similaires et l'autre partie considérait cette possibilité intéressante pour les aider à réaliser un diagnostic plus rapidement.

Pour rendre cette technique réellement utilisable lors d'un test, il fallait disposer d'une technique de pointage pour naviguer dans le dossier patient qui n'encombre pas les mains du médecin pour qu'il puisse d'une part les garder disponibles pour ses tâches usuelles et pour qu'il ne soit pas obligé de se désinfecter tout le temps les mains. Nous avons étudié trois techniques : deux utilisant le mouvement de la tête, MAT (Mouvement Absolu de la Tête) et MRT (Mouvement Relatif de la Tête), et une utilisant le mouvement de la main, MLA (Mouvement Libre Absolu). La notion d'absolu dans le mouvement indique que la distance de déplacement du curseur dépendra de la vitesse du mouvement. Ces techniques ont été comparées à la technique proposée de base avec lunettes électroniques : le mouvement du doigt sur une surface tactile (ST). Nos tests ont montré que la technique MAT rivalisait avec la technique classique ST, qui n'est pas acceptable dans notre scénario, car il ne faut pas que la main ou les doigts du médecin soit en contact avec un objet pour éviter le temps de désinfection des mains après chaque utilisation. La technique qui utilisait le mouvement relatif a clairement obtenu les moins bons résultats tant au niveau des performances qu'au niveau de la satisfaction des utilisateurs. Par contre, la technique MLA mériterait un étude sur d'autres cas d'usage avec des dispositifs de capture plus performants. En conclusion, la technique MAT semble être une technique acceptable dans notre contexte.

Des entretiens avec des médecins ont révélé le besoin de pouvoir écrire des messages courts dans le dossier patient pour annoter ou pour communiquer avec d'autres praticiens. Nous avons donc proposé une technique d'entrée de texte avec affichage sur les lunettes et saisie sur un nouveau dispositif : un tissu connecté placé sur la manche de la blouse du médecin. Un prototype de tissu connecté a été réalisé pour permettre une interaction à une dimension sans regarder le tissu : une combinaison de doigts posés sur le tissu parmi quatre (auriculaire, annulaire, majeur et index). Nous avons réalisé des tests de fiabilité du dispositif et une enquête en ligne pour connaître les combinaisons de doigts posés/levés les plus confortables. Ensuite, nous avons proposé la technique TEXTile pour saisir des caractères en utilisant le nouveau dispositif, une suite de combinaisons de doigts posés sur ce dispositif et un affichage sur l'écran de lunettes électroniques des interactions de l'utilisateur dans une vue clavier adaptée à la technique. De premiers tests effectués ont montré un apprentissage constant au fil des sessions et une bonne acceptation de la technique par les utilisateurs. La vitesse obtenue n'est pas élevée, mais a progressé. Le but étant d'écrire des messages courts par des utilisateurs qui ne deviendront donc jamais experts, il est plus important d'avoir une technique facile à utiliser.

Dans le quatrième chapitre, je montre mon projet de recherche. À partir d'une analyse des travaux de recherche effectué jusqu'à présent, j'ai pu faire le point sur les pistes de recherches intéressantes à explorer. C'est ainsi que j'ai défini trois axes correspondant à des travaux à plus ou moins long terme :

– À court terme, j'ai démarré en Octobre 2018 un nouveau encadrement de thèse sur une problématique initiée pendant le projet eGlasses : l'adaptation au contexte de l'interface affichant les données et services proposés par les lunettes. C'est un sujet qui fait appel à des problématiques d'informatique décisionnelle. Le but est d'exploiter des méthodes éprouvées dans ce domaine en injectant des contraintes liées à l'IHM. Plusieurs scénarios d'usage sont envisagés en utilisant des tailles d'écran variables : montre connectées, lunettes électroniques et casques de réalité mixte.

- À moyen terme, des travaux sur la rééducation de patients en utilisant de nouvelles techniques d'interaction pour améliorer les méthodes proposées par les praticiens ont été initiés. Deux projets sont sur ce thème : AphaTec, pour la rééducation de personnes atteintes d'aphasie et Therapeutic pour l'éducation thérapeutique de patients atteints d'ostéoporose. Je suis à l'initiative du projet AphaTec, pour lequel j'ai obtenu un financement de thèse à compter du 1^{er} Octobre 2019. Le projet Therapeutic auquel je vais participer est quant à lui un projet d'un collègue de mon laboratoire. Il n'a pas encore réellement démarré si ce n'est quelques observations pour pouvoir préparer le projet et trouver un financement.
- À long terme, j'envisage de reprendre des travaux dans le contexte de la déficience visuelle à travers le projet CROISADE et le projet Techno'Guide. Le projet CROISADE vise à proposer une plateforme d'outils (micro applications) proposant des techniques d'interaction permettant à une personne devenue aveugle d'accepter son handicap visuel. L'utilisation de ces outils devra montrer à la personne de manière plus ou moins implicite le potentiel qui lui reste pour continuer à vivre dans notre société, à communiquer et à être autonome. Je suis à l'initiative de ce projet, j'ai déjà des partenaires, mais pour l'instant le projet n'a pas encore obtenu de soutien financier. Ce projet est à voir sur le long terme, d'une part parce qu'avant de chercher de nouveaux financements, j'ai commencé à préparer des travaux exploratoires qui permettront de définir une preuve de concept susceptible d'intéresser les financeurs. D'autre part, ce projet est ambitieux dans la mesure où les utilisateurs visés ayant un vécu riche visuellement, les solutions à proposer devront être nombreuses pour s'adapter à un maximum de personnes. De plus, ce projet suivra une conception centrée utilisateurs et nécessitera énormément d'échanges avec les utilisateurs dans toutes les phases (conception, implémentation et test). C'est un travail chronophage, surtout si l'on veut ensuite engager des tests au niveau national pour cibler plus de personnes. Le projet Techno'Guide quant à lui est un projet qui s'il est accepté démarrerait en 2020. Il vise à rendre autonomes des coureurs déficients visuels pour les aider à améliorer leur performance en leur permettant de s'entraîner seul sans guide. À plus ou moins court terme ce projet servira à la préparation des athlètes pour les Jeux paralympiques de 2024, et à long terme on pourrait envisager que l'athlète concourt sans guide. L'objectif ultime serait de permettre aux coureurs déficients visuels de courir avec des coureurs valides.

Dans le cinquième chapitre, j'ai décrit toutes les activités menées au cours de ma carrière qu'elles soient en pédagogie, administratives ou en recherche. J'ai pu au cours de ma carrière découvrir tous les aspects du métier d'enseignants chercheurs. Je n'ai pas hésité à prendre de nombreuses responsabilités, à monter des projets pour des demandes de financements et à animer des groupes. D'ailleurs, je suis à l'initiative de groupe de travail (GT) « IHM dans le domaine de la Santé » soutenu par l'AFIHM (Association Francophone d'Interaction Homme-Machine). C'est un véritable besoin qui s'est révélé à force de travailler au contact de personnes à besoins spécifiques et dans le domaine hospitalier. Très rapidement dès sa création fin décembre 2018, le groupe a atteint 95 membres, ce qui prouve une demande de la part de la communauté scientifique. J'anime ce groupe de travail avec un collègue de Lille, José Rouillard. Nous avons inauguré ce GT par une journée le 14 mai 2019 sous la forme d'un cycle de conférences et posters pour avoir une première vision nationale et internationale de la recherche en IHM dans le domaine de la Santé. Il est prévu de nombreux ateliers au fil des années permettant d'initier des publications et des projets communs. En décembre 2019, un premier atelier est d'ailleurs prévu à Grenoble dans le cadre de la conférence IHM 2019.

Bibliographie

- [1] T. T. Hewett *et al.*, « ACM SIGCHI Curricula for Human-Computer Interaction », ACM, New York, NY, USA, 1992.
- [2] L. Nigay et J. Coutaz, « A Generic Platform for Addressing the Multimodal Challenge », in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 1995, p. 98–105.
- [3] J. K. Salisbury Jr., « Making Graphics Physically Tangible », *Commun ACM*, vol. 42, n° 8, p. 74–81, août 1999.
- [4] K. Hinckley, « Haptic Issues for Virtual Manipulation », University of Virginia, 2016.
- [5] A. Lecuyer, S. Coquillart, A. Kheddar, P. Richard, et P. Coiffet, « Pseudo-haptic feedback: can isometric input devices simulate force feedback? », in *Proceedings IEEE Virtual Reality 2000 (Cat. No.00CB37048)*, 2000, p. 83-90.
- [6] I. Oakley, M. R. McGee, S. Brewster, et P. Gray, « Putting the Feel in 'Look and Feel' », in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2000, p. 415–422.
- [7] G. C. Burdea, « Haptic Feedback for Virtual Reality », *Spec. Issue Virtual Prototyp. Int. J. Des. Innov. Res.*, vol. 2, n° 1, p. 17-29, juill. 2000.
- [8] S. Oviatt, « Ten Myths of Multimodal Interaction », *Commun ACM*, vol. 42, n° 11, p. 74–81, nov. 1999.
- [9] L. M. Reeves *et al.*, « Guidelines for Multimodal User Interface Design », *Commun ACM*, vol. 47, n° 1, p. 57–59, janv. 2004.
- [10] E. Malik, « Apprentissage de la représentation multidimensionnelle pour les élèves non-voyants », LITA, Université de Metz, Rapport de stage de DEA Informatique, juin 2001.
- [11] D. Schleppebach, « Teaching Science To The Visually Impaired: Purdue University's Visions Lab », vol. III, n° 4, déc. 1996.
- [12] E. Foulke, « Toward better tangible graphic displays », in *Proceedings*, Kyoto, Japan, 1990, vol. 2.
- [13] C. Cornoldi et T. Vecchi, « Cécité précoce et images mentales spatiales. », in *Toucher pour connaître: Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*, Presses Universitaires de France, 2000, p. 175-189.
- [14] M. Kurze et E. Holmes, « 3D Concepts By The Sighted, The Blind And From The Computer », in *The 5th International Conference on Computers Helping People with Special Needs*, Linz, Austria, 1996, p. 8.
- [15] M. Kurze, « TDraw: A Computer-based Tactile Drawing Tool for Blind People », in *Proceedings of the Second Annual ACM Conference on Assistive Technologies*, New York, NY, USA, 1996, p. 131–138.
- [16] S. Ungar, M. Blades, et C. Spencer, « Teaching Visually Impaired Children To Make Distance Judgments from a Tactile Map », *J. Vis. Impair. Blind.*, vol. 91, n° 2, p. 163-74, 1997.
- [17] W. Yu, R. Ramloll, et S. Brewster, « Haptic graphs for blind computer users », in *Haptic Human-Computer Interaction*, 2001, p. 41-51.
- [18] Y. Hatwell, « Les procédures d'exploration manuelle chez l'enfant et l'adulte. », in *Toucher pour connaître : Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*, Presses Universitaires de France, 2000, p. 71-84.
- [19] M. Guidetti et C. Tourrette, *Handicaps et développement psychologique de l'enfant*, 3e édition revue et augmentée. Paris: Armand Colin, 2014.
- [20] G. W. Fitzmaurice, H. Ishii, et W. A. S. Buxton, « Bricks: Laying the Foundations for Graspable User Interfaces », in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 1995, p. 442–449.
- [21] T. Pietrzak, « Contributions à la dissémination d'informations haptiques dans un environnement multimodal », thèse de doctorat, Université Paul Verlaine, Metz, 2008.
- [22] K. Maclean et M. Enriquez, « Perceptual design of haptic icons », in *Proceedings of Eurohaptics*, 2003, p. 351–363.
- [23] M. Enriquez, K. MacLean, et C. Chita, « Haptic Phonemes: Basic Building Blocks of Haptic Communication », in *Proceedings of the 8th International Conference on Multimodal Interfaces*, New York, NY, USA, 2006, p. 302–309.
- [24] G. A. Miller, « The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information », *Psychol. Rev.*, vol. 63, n° 2, p. 81-97, 1956.
- [25] Y. Kawai et F. Tomita, « Evaluation Of Interactive Tactile Display System », in *Int. Conf. on Computers Helping People with Special Needs*, 1998, p. 29–36.
- [26] C. R. Wagner, S. J. Lederman, et R. D. Howe, « A tactile shape display using RC servomotors », in *Proceedings 10th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems.*, Orlando, USA, 2002, p. 354-355.
- [27] M. Benali-Khoudja, Ch. Orange, F. Maingreud, M. Hafez, A. Kheddar, et E. Pissaloux, « Shape and Direction Perception Using the VITAL: A Vibro-TactiLe Interface », in *In Touch and Haptics Workshop*, Sendai, Japon, 2004, p. 45-48.
- [28] J. Pasquero et V. Hayward, « STRESS: A practical tactile display system with one millimeter spatial resolution and 700 Hz refresh rate », in *in Proc. Eurohaptics 2003*, Dublin, Ireland, 2003, p. 94–110.

Bibliographie

- [29] G. Jansson et P. Pedersen, « Obtaining geographical information from a virtual map with a haptic mouse », in *Proceedings of International Cartographic Conference*, Coruña, Spain, 2005.
- [30] S. Wall et S. Brewster, « Feeling What You Hear: Tactile Feedback for Navigation of Audio Graphs », in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2006, p. 1123–1132.
- [31] S. Brewster et L. M. Brown, « Tactons: Structured Tactile Messages for Non-visual Information Display », in *Proceedings of the Fifth Conference on Australasian User Interface*, Darlinghurst, Australia, 2004, vol. 28, p. 15–23.
- [32] C. Sjöström, « Non-Visual Haptic Interaction Design - Guidelines and Applications », Lund University, Lund, Suède, 2002.
- [33] S. A. Wall et S. A. Brewster, « Tac-tiles: Multimodal Pie Charts for Visually Impaired Users », in *Proceedings of the 4th Nordic Conference on Human-computer Interaction: Changing Roles*, New York, NY, USA, 2006, p. 9–18.
- [34] M. Ziat, O. Gapenne, J. Stewart, et C. Lenay, « Haptic Recognition of Shapes at Different Scales: A Comparison of Two Methods of Interaction », *Interact Comput*, vol. 19, n° 1, p. 121–132, janv. 2007.
- [35] J. Coutaz, L. Nigay, D. Salber, A. Blandford, J. May, et R. M. Young, « Four Easy Pieces for Assessing the Usability of Multimodal Interaction: The Care Properties », in *Human—Computer Interaction: Interact '95*, Lillehammer, Norway, 1995, p. 115-120.
- [36] S. A. Wall et S. Brewster, « Providing External Memory Aids in Haptic Visualisations for Blind Users », in *Proceedings of the 5th International Conference on Disability, Virtual Reality and Assoc. Tech.*, Oxford, UK, 2004, p. 331-338.
- [37] M. Brooks, « Introducing the Dvorak Keyboard », *Introducing the Dvorak keyboard*, juill-1995. [En ligne]. Disponible sur: <http://dvorak.mwbrooks.com/>. [Consulté le: 14-avr-2019].
- [38] Y. Guerrier, C. Kolski, et F. Poirier, « Etat de l'art sur les systèmes d'aide à la communication envisageables pour des utilisateurs de profil IMC athétosique », vol. 6, n° 1, p. 46, 2017.
- [39] S. Mizobuchi, M. Chignell, et D. Newton, « Mobile Text Entry: Relationship Between Walking Speed and Text Input Task Difficulty », in *Proceedings of the 7th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices & Services*, New York, NY, USA, 2005, p. 122–128.
- [40] F. Poirier et I. Schadle, « Interfaces Réduites pour l'Entrée de Texte - État de l'Art et Présentation du Communicateur Sibylle pour l'Aide à l'écriture de Personnes Handicapées », *Europia*, vol. 6, n° 2, p. 63-89, 2005.
- [41] I. S. MacKenzie, « KSPC (Keystrokes Per Character) As a Characteristic of Text Entry Techniques », in *Proceedings of the 4th International Symposium on Mobile Human-Computer Interaction*, London, UK, 2002, p. 195–210.
- [42] I. S. MacKenzie, « A Note on Calculating Text Entry Speed ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.yorku.ca/mack/RN-TextEntrySpeed.html>. [Consulté le: 15-avr-2019].
- [43] A. Pavlovych et W. Stuerzlinger, « Model for Non-expert Text Entry Speed on 12-button Phone Keypads », in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2004, p. 351–358.
- [44] C. L. James et K. M. Reischel, « Text input for mobile devices: comparing model prediction to actual performance », in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '01*, Seattle, Washington, United States, 2001, p. 365-371.
- [45] A. Oniszcak et I. S. MacKenzie, « A Comparison of Two Input Methods for Keypads on Mobile Devices », in *Proceedings of the Third Nordic Conference on Human-computer Interaction*, New York, NY, USA, 2004, p. 101–104.
- [46] S. B. Nesbat, « A System for Fast, Full-text Entry for Small Electronic Devices », in *Proceedings of the 5th International Conference on Multimodal Interfaces*, New York, NY, USA, 2003, p. 4–11.
- [47] I. S. MacKenzie et S. X. Zhang, « The Design and Evaluation of a High-performance Soft Keyboard », in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 1999, p. 25–31.
- [48] F. Vella et N. Vigouroux, « Etude de l'optimisation de claviers virtuels au travers des sujets handicapés versus valides », in *Secondes Rencontres Jeunes Chercheurs en Interaction Homme-Machine (RJC-IHM 2004)*, 2004, p. 99–102.
- [49] I. S. MacKenzie et R. W. Soukoreff, « Text Entry for Mobile Computing: Models and Methods, Theory and Practice », *Hum.-Comput. Interact.*, vol. 17, n° 2-3, p. 147–198, 2002.
- [50] K. Harbusch, S. Hasan, H. Hoffmann, M. Kühn, et B. Schüler, « Domain-specific Disambiguation for Typing with Ambiguous Keyboards », in *Proceedings of the 2003 EAEL Workshop on Language Modeling for Text Entry Methods*, Stroudsburg, PA, USA, 2003, p. 67–74.
- [51] I. S. MacKenzie, H. Kober, D. J. Smith, T. Jones, et E. Skepner, « LetterWise: prefix-based disambiguation for mobile text input », in *Proceedings of the 14th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST

- 2001, *Disney's BoardWalk Inn Resort, Walt Disney World, Orlando, Florida, USA, November 11-14, 2001*, 2001, p. 111–120.
- [52] D. Wigdor et R. Balakrishnan, « TiltText: Using Tilt for Text Input to Mobile Phones », in *Proceedings of the 16th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, New York, NY, USA, 2003, p. 81–90.
- [53] Microth, Inc, « Claviature », 2004. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.microth.com/claviature/default.asp>. [Consulté le: 17-avr-2019].
- [54] J. Clawson, K. Lyons, T. Starner, et E. Clarkson, « The Impacts of Limited Visual Feedback on Mobile Text Entry for the Twiddler and Mini-QWERTY Keyboards », in *Ninth IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2005), 18-21 October 2005, Osaka, Japan, 2005*, p. 170–177.
- [55] A. Cockburn et A. Siresena, « Evaluating Mobile Text Entry with the Fastap Keypad », in *People and Computers XVII* (, Bath, England, 2003, vol. 2, p. 77-80.
- [56] « CyKey ». [En ligne]. Disponible sur: <https://sites.google.com/site/cykeybellaire/>. [Consulté le: 16-avr-2019].
- [57] « Global Keyboard Open Standard, the chorded keyboard for small devices ». [En ligne]. Disponible sur: <http://gkos.com/gkos/index-gkos-com.html>.
- [58] K. Lyons *et al.*, « Twiddler Typing: One-handed Chording Text Entry for Mobile Phones », in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2004, p. 671–678.
- [59] M. Ingmarsson, D. Dinka, et S. Zhai, « TNT: A Numeric Keypad Based Text Input Method », in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2004, p. 639–646.
- [60] Z. Fitz-Walter, S. Jones, et D. Tjondronegoro, « Detecting Gesture Force Peaks for Intuitive Interaction », in *Proceedings of the 5th Australasian Conference on Interactive Entertainment*, New York, NY, USA, 2008, p. 2:1–2:8.
- [61] K. Chorianopoulos et G. Lekakos, « Learn and Play with Interactive TV », *Comput Entertain*, vol. 5, n° 2, p. 9, avr. 2007.
- [62] E. Lee et M. Schmidt, « Revolutionizing TV with user-centered design and research », *User Exp.*, vol. 2, n° 4, p. 10–13, 2005.
- [63] E. Lawrence, C. Sax, K. F. Navarro, et M. Qiao, « Interactive Games to Improve Quality of Life for the Elderly: Towards Integration into a WSN Monitoring System », in *Proceedings of the 2010 Second International Conference on eHealth, Telemedicine, and Social Medicine*, Washington, DC, USA, 2010, p. 106–112.
- [64] J. Coelho, C. Duarte, P. Biswas, et P. Langdon, « Developing Accessible TV Applications », in *The Proceedings of the 13th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, New York, NY, USA, 2011, p. 131–138.
- [65] C. A. C. Teixeira, E. L. Melo, R. G. Cattelan, et M. da G. C. Pimentel, « User-media Interaction with Interactive TV », in *Proceedings of the 2009 ACM Symposium on Applied Computing*, New York, NY, USA, 2009, p. 1829–1833.
- [66] W. Cooper, « The Interactive Television User Experience So Far », in *Proceedings of the 1st International Conference on Designing Interactive User Experiences for TV and Video*, New York, NY, USA, 2008, p. 133–142.
- [67] D. Marshall, J. C. Foster, et M. A. Jack, « User performance and attitude towards schemes for alphanumeric data entry using restricted input devices », *Behav. Inf. Technol.*, vol. 20, n° 3, p. 167–188, janv. 2001.
- [68] A. Berglund et P. Johansson, « Using speech and dialogue for interactive TV navigation », *Univers. Access Inf. Soc.*, vol. 3, n° 3, p. 224–238, oct. 2004.
- [69] L. Eronen et P. Vuorimaa, « User Interfaces for Digital Television: A Navigator Case Study », in *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, New York, NY, USA, 2000, p. 276–279.
- [70] T. A. Nichols, W. A. Rogers, et A. D. Fisk, « Design for Aging », in *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, John Wiley & Sons, Ltd, 2006, p. 1418-1445.
- [71] G. Epelde *et al.*, « Providing Universally Accessible Interactive Services Through TV Sets: Implementation and Validation with Elderly Users », *Multimed. Tools Appl*, vol. 67, n° 2, p. 497–528, nov. 2013.
- [72] P.-A. Lapointe, « Évaluation Heuristique D'Un Clavier Virtuel Pour La TéléVision Interactive », in *Proceedings of the 18th Conference on L'Interaction Homme-Machine*, New York, NY, USA, 2006, p. 245–248.
- [73] C. Neufeldt, « Wii play with elderly people », *Enhancing Interact. Spaces Soc. Media Elder.*, vol. 6, n° 3, p. 50–59, 2009.
- [74] D. A. Norman et D. Fisher, « Why Alphabetic Keyboards Are Not Easy to Use: Keyboard Layout Doesn't Much Matter. », vol. 24, n° 5, p. 509-519.
- [75] A. Iatrino et S. Modeo, « Text editing in digital terrestrial television: a comparison of three interfaces », in *Interactive digital television: Technologies and applications*, IGI Global, 2007, p. 224–241.
- [76] H. Gimpel, « Interview with Thomas W. Malone on "Collective Intelligence, Climate Change, and the Future of Work" », *Bus. Inf. Syst. Eng.*, vol. 57, n° 4, p. 275-278, août 2015.

Bibliographie

- [77] S. Brewster, J. Lumsden, M. Bell, M. Hall, et S. Tasker, « Multimodal “Eyes-free” Interaction Techniques for Wearable Devices », in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2003, p. 473–480.
- [78] J. P. Titlow, « 10 Compelling Ways People Plan To Use Google Glass », *ReadWrite*, 07-mars-2013. .
- [79] « Google Glass Application List | Google Glass Apps ». [En ligne]. Disponible sur: <http://glass-apps.org/google-glass-application-list>. [Consulté le: 22-avr-2019].
- [80] « Google Glass - GoGlasses ». .
- [81] A. Linden et J. Fenn, « Understanding Gartner’s Hype Cycles », Strategic Analysis Report R-20-1971, mai 2003.
- [82] B. L. Due, *The future of smart glasses: an essay about challenges and possibilities with smart glasses*, vol. 1, 2 vol. University of Copenhagen, Danemark, 2015.
- [83] M. Billingham et H. Raffle, « The Glass Class: Designing Wearable Interfaces », in *Proceedings of the Extended Abstracts of the 32Nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2014, p. 1041–1042.
- [84] T. Coucq, « Sur les pas des femmes en blanc », *Saint Luc Magazine*, vol. 24, p. 16-18, mars-2013.
- [85] I. Belkacem, « Étude de nouvelles techniques d’interaction en situation de mobilité avec des lunettes électroniques pour le domaine de la santé », Thèse de doctorat, Université de Lorraine, Metz, 2019.
- [86] G. Potamias, « State of the art on systems for data analysis, information retrieval and decision support », Deliverable D13, janv. 2006.
- [87] D. Armijo, C. McDonnell, et K. Werner, « Electronic health record usability: evaluation and use case framework », *AHRQ Publ. Agency Healthc. Res. Qual.*, n° 09(10)-0091-1-EF, p. 57, oct. 2009.
- [88] L. Chittaro, « Information Visualization and Its Application to Medicine », *Artif Intell Med*, vol. 22, n° 2, p. 81–88, mai 2001.
- [89] D. T. Bauer, S. A. Guerlain, et P. J. Brown, « Evaluating the use of flowsheets in pediatric intensive care to inform design », in *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 2006, vol. 50, p. 1054–1058.
- [90] Y. K. Leung et M. D. Apperley, « A Review and Taxonomy of Distortion-oriented Presentation Techniques », *ACM Trans Comput-Hum Interact*, vol. 1, n° 2, p. 126–160, juin 1994.
- [91] C. Chen, *Information visualization: Beyond the horizon*. Springer Science & Business Media, 2006.
- [92] G. W. Furnas, « Generalized Fisheye Views », in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 1986, p. 16–23.
- [93] M. Sarkar et M. H. Brown, « Graphical Fisheye Views of Graphs », in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 1992, p. 83–91.
- [94] M. Zizi et M. Beaudouin-Lafon, « Hypermedia exploration with interactive dynamic maps », *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, vol. 43, n° 3, p. 441-464, sept. 1995.
- [95] F. van Ham et J. J. van Wijk, « Interactive Visualization of Small World Graphs », in *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization*, Washington, DC, USA, 2004, p. 199–206.
- [96] P. Janecek et P. Pu, « A Framework for Designing Fisheye Views to Support Multiple Semantic Contexts », in *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, New York, NY, USA, 2002, p. 51–58.
- [97] T. Segaran, C. Evans, et J. Taylor, *Programming the Semantic Web: Build Flexible Applications with Graph Data*. O’Reilly Media, Inc., 2009.
- [98] G. van Heijst, A. Th. Schreiber, et B. J. Wielinga, « Using Explicit Ontologies in KBS Development », *Int J Hum-Comput Stud*, vol. 46, n° 2-3, p. 183–292, mars 1997.
- [99] P. Gayet, J. Charlet, N. Janin, E. Clout, G. Decleck, et P. Miroux, « Une synthèse du dossier médical pour décider aux urgences : le projet LERUDI », *Ann. Fr. Médecine Urgence*, vol. 7, n° 3, p. 166-173, juin 2017.
- [100] G. Pirró et J. Euzenat, « A Feature and Information Theoretic Framework for Semantic Similarity and Relatedness », in *The Semantic Web – ISWC 2010*, 2010, p. 615-630.
- [101] E. G. M. Petrakis, G. Varelas, A. Hliaoutakis, et P. Raftopoulou, « X-Similarity: Computing Semantic Similarity between Concepts from Different Ontologies », *J. Digit. Inf. Manag. JDIM*, vol. 4, p. 8, 2006.
- [102] Z. Wu et M. Palmer, « Verbs Semantics and Lexical Selection », in *Proceedings of the 32Nd Annual Meeting on Association for Computational Linguistics*, Stroudsburg, PA, USA, 1994, p. 133–138.
- [103] S. Niwattanakul, J. Singthongchai, E. Naenudorn, et S. Wanapu, « Using of Jaccard Coefficient for Keywords Similarity », in *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, Hong Kong, 2013, vol. I, p. 5.
- [104] A. Rind et al., « Interactive Information Visualization to Explore and Query Electronic Health Records », *Found Trends Hum-Comput Interact*, vol. 5, n° 3, p. 207–298, févr. 2013.

- [105] B. J. Lesselroth et D. S. Pieczkiewicz, *Data Visualization Strategies for the Electronic Health Record*. Nova Science Publisher's, Incorporated, 2011.
- [106] R. Kosara et S. Miksch, « Visualization methods for data analysis and planning in medical applications », *Int. J. Med. Inf.*, vol. 68, n° 1, p. 141-153, déc. 2002.
- [107] A. MacLean, R. M. Young, V. M. E. Bellotti, et T. P. Moran, « Questions, Options, and Criteria: Elements of Design Space Analysis », *Human-Computer Interact.*, vol. 6, n° 3-4, p. 201-250, sept. 1991.
- [108] H.-J. Schulz, T. Nocke, M. Heitzler, et H. Schumann, « A Design Space of Visualization Tasks », *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 19, n° 12, p. 2366-2375, déc. 2013.
- [109] O. Specer-Thomas, « Writing a Press Release », *Owen Spencer-Thomas*.
- [110] K. Bondale, « Project planning should start with the 5 W questions before getting to the How? », *Easy in theory, difficult in practice*, 27-mai-2012.
- [111] S. Buttry, « The 5 W's (and How) are even more important to business than to journalism », *The Buttry Diary*, 27-avr-2011. [En ligne]. Disponible sur: <https://stevebuttry.wordpress.com/2011/04/27/the-5-w%E2%80%99s-and-how-are-even-more-important-to-business-than-to-journalism/>. [Consulté le: 28-avr-2019].
- [112] Z. Zhang *et al.*, « The Five Ws for Information Visualization with Application to Healthcare Informatics », *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 19, n° 11, p. 1895-1910, nov. 2013.
- [113] C. Plaisant, R. Mushlin, A. Snyder, J. Li, D. Heller, et B. Shneiderman, « Lifelines: using visualization to enhance navigation and analysis of patient records. », in *Proceedings of the AMIA Symposium*, 1998, p. 76-80.
- [114] A. Faiola, P. Srinivas, et J. Duke, « Supporting Clinical Cognition: A Human-Centered Approach to a Novel ICU Information Visualization Dashboard », in *AMIA ... Annual Symposium proceedings.*, 2015, vol. 2015, p. 560-569.
- [115] V. L. Payne et D. P. Metzler, « Hospital care watch (HCW): an ontology and rule-based intelligent patient management assistant », in *Proceedings of the 18th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS'05)*, 2005, p. 479-484.
- [116] Y.-C. Tung *et al.*, « User-Defined Game Input for Smart Glasses in Public Space », in *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2015, p. 3327-3336.
- [117] R. Atienza, R. Blonna, M. I. Saldares, J. Casimiro, et V. Fuentes, « Interaction techniques using head gaze for virtual reality », in *2016 IEEE Region 10 Symposium (TENSymp)*, Bali, Indonésie, 2016, p. 110-114.
- [118] B. Kollee, S. Kratz, et A. Dunnigan, « Exploring Gestural Interaction in Smart Spaces Using Head Mounted Devices with Ego-centric Sensing », in *Proceedings of the 2Nd ACM Symposium on Spatial User Interaction*, New York, NY, USA, 2014, p. 40-49.
- [119] F. Wahl, M. Freund, et O. Amft, « Using Smart Eyeglasses As a Wearable Game Controller », in *Adjunct Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers*, New York, NY, USA, 2015, p. 377-380.
- [120] C. Yu, Y. Gu, Z. Yang, X. Yi, H. Luo, et Y. Shi, « Tap, Dwell or Gesture?: Exploring Head-Based Text Entry Techniques for HMDs », in *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2017, p. 4479-4488.
- [121] « Gaze - Mixed Reality », 24-févr-2019. [En ligne]. Disponible sur: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/gaze>. [Consulté le: 30-avr-2019].
- [122] M. F. Roig-Maimó, I. S. MacKenzie, C. Manresa-Yee, et J. Varona, « Head-tracking interfaces on mobile devices: Evaluation using Fitts' law and a new multi-directional corner task for small displays », *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, vol. 112, p. 1-15, 2018.
- [123] M. Ward, R. Azuma, R. Bennett, S. Gottschalk, et H. Fuchs, « A Demonstrated Optical Tracker with Scalable Work Area for Head-mounted Display Systems », in *Proceedings of the 1992 Symposium on Interactive 3D Graphics*, New York, NY, USA, 1992, p. 43-52.
- [124] M. Bichsel et A. Pentland, « Automatic interpretation of human head movements », in *13th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), Workshop on Looking At People*, Chambéry, France, 1993, p. 8.
- [125] M. B. López, J. Hannuksela, O. Silvén, et L. Fan, « Head-tracking virtual 3-D display for mobile devices », in *2012 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, 2012, p. 27-34.
- [126] A. M. Bernardos, D. Gómez, et J. R. Casar, « A comparison of head pose and deictic pointing interaction methods for smart environments », *Int. J. Hum.-Comput. Interact.*, vol. 32, n° 4, p. 325-351, 2016.
- [127] S. Jalaliniya, D. Mardanbegi, et T. Pederson, « MAGIC Pointing for Eyewear Computers », in *Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers*, New York, NY, USA, 2015, p. 155-158.

Bibliographie

- [128] S. Jalaliniya, D. Mardanbeigi, T. Pederson, et D. W. Hansen, « Head and Eye Movement as Pointing Modalities for Eyewear Computers », in *2014 11th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks Workshops*, Zurich, Switzerland, 2014, p. 50-53.
- [129] M. Kytö, B. Ens, T. Piumsomboon, G. A. Lee, et M. Billinghurst, « Pinpointing: Precise Head- and Eye-Based Target Selection for Augmented Reality », in *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2018, p. 81:1–81:14.
- [130] Y. Y. Qian et R. J. Teather, « The Eyes Don'T Have It: An Empirical Comparison of Head-based and Eye-based Selection in Virtual Reality », in *Proceedings of the 5th Symposium on Spatial User Interaction*, New York, NY, USA, 2017, p. 91–98.
- [131] Z. Huang, W. Li, et P. Hui, « Ubii: Towards Seamless Interaction Between Digital and Physical Worlds », in *Proceedings of the 23rd ACM International Conference on Multimedia*, New York, NY, USA, 2015, p. 341–350.
- [132] T. Ha, S. Feiner, et W. Woo, « WeARHand: Head-worn, RGB-D camera-based, bare-hand user interface with visually enhanced depth perception », in *2014 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, Munich, Germany, 2014, p. 219-228.
- [133] « Gestures - Mixed Reality », 24-févr-2019. [En ligne]. Disponible sur: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/gestures>.
- [134] M. Kolsch, M. Turk, et T. Hollerer, « Vision-based interfaces for mobility », in *The First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services*, Boston, USA, 2004, p. 86-94.
- [135] T. Lee et T. Hollerer, « Handy AR: Markerless Inspection of Augmented Reality Objects Using Fingertip Tracking », in *Proceedings of the 2007 11th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, Washington, DC, USA, 2007, p. 1–8.
- [136] G. Heo, D.-W. Lee, H.-C. Shin, H.-T. Jeong, et T.-W. Yoo, « Hand segmentation and fingertip detection for interfacing of stereo vision-based smart glasses », in *2015 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, Las Vegas, USA, 2015, p. 585-586.
- [137] D. Kim *et al.*, « Digits: Freehand 3D Interactions Anywhere Using a Wrist-worn Gloveless Sensor », in *Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, New York, NY, USA, 2012, p. 167–176.
- [138] G. Bailly, J. Müller, M. Rohs, D. Wigdor, et S. Kratz, « ShoeSense: A New Perspective on Gestural Interaction and Wearable Applications », in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2012, p. 1239–1248.
- [139] L. Chan, Y.-L. Chen, C.-H. Hsieh, R.-H. Liang, et B.-Y. Chen, « CyclopsRing: Enabling Whole-Hand and Context-Aware Interactions Through a Fisheye Ring », in *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software & Technology*, New York, NY, USA, 2015, p. 549–556.
- [140] E. N. Arcoverde Neto *et al.*, « Enhanced Real-time Head Pose Estimation System for Mobile Device », *Integr Comput-Aided Eng*, vol. 21, n° 3, p. 281–293, juill. 2014.
- [141] S. Yi, Z. Qin, E. Novak, Y. Yin, et Q. Li, « GlassGesture: Exploring head gesture interface of smart glasses », in *IEEE INFOCOM 2016 - The 35th Annual IEEE International Conference on Computer Communications*, San Francisco, USA, 2016, p. 1-9.
- [142] R. McCall, B. Martin, A. Popleteev, N. Louveton, et T. Engel, « Text entry on smart glasses », in *2015 8th International Conference on Human System Interaction (HSI)*, Warsaw, Poland, 2015, p. 195-200.
- [143] I. Oakley et J.-S. Park, « Designing Eyes-free Interaction », in *Proceedings of the 2Nd International Conference on Haptic and Audio Interaction Design*, Berlin, Heidelberg, 2007, p. 121–132.
- [144] C.-Y. Wang, W.-C. Chu, P.-T. Chiu, M.-C. Hsiu, Y.-H. Chiang, et M. Y. Chen, « PalmType: Using Palms As Keyboards for Smart Glasses », in *Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, New York, NY, USA, 2015, p. 153–160.
- [145] M. Prätorius, D. Valkov, U. Burgbacher, et K. Hinrichs, « DigiTap: An Eyes-free VR/AR Symbolic Input Device », in *Proceedings of the 20th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, New York, NY, USA, 2014, p. 9–18.
- [146] D.-Y. Huang *et al.*, « DigitSpace: Designing Thumb-to-Fingers Touch Interfaces for One-Handed and Eyes-Free Interactions », in *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2016, p. 1526–1537.
- [147] B. Bajer, I. S. MacKenzie, et M. Baljko, « Huffman Base-4 Text Entry Glove (H4 TEG) », in *Proceedings of the 2012 16th Annual International Symposium on Wearable Computers (ISWC)*, Washington, DC, USA, 2012, p. 41–47.

- [148] F. Kuester, M. Chen, M. E. Phair, et C. Mehring, « Towards Keyboard Independent Touch Typing in VR », in *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, New York, NY, USA, 2005, p. 86–95.
- [149] S. Lee, S. H. Hong, et J. W. Jeon, « Designing a Universal Keyboard Using Chording Gloves », in *Proceedings of the 2003 Conference on Universal Usability*, New York, NY, USA, 2003, p. 142–147.
- [150] E. Whitmire *et al.*, « DigiTouch: Reconfigurable Thumb-to-Finger Input and Text Entry on Head-mounted Displays », *Proc ACM Interact Mob Wearable Ubiquitous Technol*, vol. 1, n° 3, p. 113:1–113:21, sept. 2017.
- [151] S. Nirjon, J. Gummeson, D. Gelb, et K.-H. Kim, « TypingRing: A Wearable Ring Platform for Text Input », in *Proceedings of the 13th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, New York, NY, USA, 2015, p. 227–239.
- [152] L. Chan *et al.*, « FingerPad: Private and Subtle Interaction Using Fingertips », in *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, New York, NY, USA, 2013, p. 255–260.
- [153] C. Yu, K. Sun, M. Zhong, X. Li, P. Zhao, et Y. Shi, « One-Dimensional Handwriting: Inputting Letters and Words on Smart Glasses », in *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2016, p. 71–82.
- [154] T. Grossman, X. A. Chen, et G. Fitzmaurice, « Typing on Glasses: Adapting Text Entry to Smart Eyewear », in *Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, New York, NY, USA, 2015, p. 144–152.
- [155] J. O. Wobbrock, B. A. Myers, et J. A. Kembel, « EdgeWrite: A Stylus-based Text Entry Method Designed for High Accuracy and Stability of Motion », in *Proceedings of the 16th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, New York, NY, USA, 2003, p. 61–70.
- [156] H. Tinwala et I. S. MacKenzie, « Eyes-free Text Entry with Error Correction on Touchscreen Mobile Devices », in *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries*, New York, NY, USA, 2010, p. 511–520.
- [157] N. Banovic, K. Yatani, et K. N. Truong, « Escape-Keyboard: A Sight-Free One-Handed Text Entry Method for Mobile Touch-screen Devices », *Int J Mob Hum Comput Interact*, vol. 5, n° 3, p. 42–61, juill. 2013.
- [158] C. Amma, M. Georgi, et T. Schultz, « Airwriting: Hands-Free Mobile Text Input by Spotting and Continuous Recognition of 3d-Space Handwriting with Inertial Sensors », in *2012 16th International Symposium on Wearable Computers*, Newcastle, UK, 2012, p. 52-59.
- [159] T. Ni, D. Bowman, et C. North, « AirStroke: Bringing Unistroke Text Entry to Freehand Gesture Interfaces », in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2011, p. 2473–2476.
- [160] J. D. Hincapié-Ramos, X. Guo, P. Moghadasian, et P. Irani, « Consumed Endurance: A Metric to Quantify Arm Fatigue of Mid-air Interactions », in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2014, p. 1063–1072.
- [161] Y.-T. Hsieh, A. Jylhä, V. Orso, L. Gamberini, et G. Jacucci, « Designing a Willing-to-Use-in-Public Hand Gestural Interaction Technique for Smart Glasses », in *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2016, p. 4203–4215.
- [162] I. Poupirev, N.-W. Gong, S. Fukuhara, M. E. Karagozler, C. Schwesig, et K. E. Robinson, « Project Jacquard: Interactive Digital Textiles at Scale », in *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2016, p. 4216–4227.
- [163] B. Zhou, J. Cheng, M. Sundholm, et P. Lukowicz, « From Smart Clothing to Smart Table Cloth: Design and Implementation of a Large Scale, Textile Pressure Matrix Sensor », in *Architecture of Computing Systems – ARCS 2014*, 2014, p. 159-170.
- [164] S. Schneegass et A. Voit, « GestureSleeve: Using Touch Sensitive Fabrics for Gestural Input on the Forearm for Controlling Smartwatches », in *Proceedings of the 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers*, New York, NY, USA, 2016, p. 108–115.
- [165] P. Strohmeier, J. Knibbe, S. Boring, et K. Hornb\ae, « zPatch: Hybrid Resistive/Capacitive eTextile Input », in *Proceedings of the Twelfth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, New York, NY, USA, 2018, p. 188–198.
- [166] I. S. MacKenzie et R. W. Soukoreff, « Phrase Sets for Evaluating Text Entry Techniques », in *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2003, p. 754–755.
- [167] A. Bangor, P. T. Kortum, et J. T. Miller, « An Empirical Evaluation of the System Usability Scale », *Int. J. Human-Computer Interact.*, vol. 24, n° 6, p. 574-594, juill. 2008.

Bibliographie

- [168] « Gesture Recognition and Touchless Sensing Market worth 34.25 Billion USD by 2022 », Market Research report SE 3453, mars 2017.
- [169] S. A. Bly et J. K. Rosenberg, « A Comparison of Tiled and Overlapping Windows », in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 1986, p. 101–106.
- [170] E. S. Cohen, E. T. Smith, et L. A. Iverson, « Constraint-Based Tiled Windows », *IEEE Comput. Graph. Appl.*, vol. 6, n° 5, p. 35-45, mai 1986.
- [171] D. W. Flynt *et al.*, « Tile space user interface for mobile devices », US7933632B2, 26-avr-2011.
- [172] I. Kacem et H. Kellerer, « Approximation algorithms for no idle time scheduling on a single machine with release times and delivery times », *Discrete Appl. Math.*, vol. 164, p. 154-160, févr. 2014.
- [173] I. Kacem et V. Th. Paschos, « Weighted completion time minimization on a single-machine with a fixed non-availability interval: Differential approximability », *Discrete Optim.*, vol. 10, n° 1, p. 61-68, févr. 2013.
- [174] I. Kacem et H. Kellerer, « Fast approximation algorithms to minimize a special weighted flow-time criterion on a single machine with a non-availability interval and release dates », *J Sched.*, vol. 14, n° 3, p. 257–265, 2011.
- [175] M. Dell’Amico, M. Iori, S. Martello, et M. Monaci, « A note on exact and heuristic algorithms for the identical parallel machine scheduling problem », *J Heuristics*, vol. 18, n° 6, p. 939–942, 2012.
- [176] G. Aulagner, R. François, B. Martin, D. Michel, et M. Raynal, « Floodkey: increasing software keyboard keys by reducing needless ones without occultation », in *Proceedings of the 10th WSEAS international conference on Applied computer science*, 2010, p. 412-417.
- [177] F. Woimant, M.-H. Mahagne, F. Benon, et B. Auchère, « Mieux comprendre ce qu’est un accident vasculaire cérébrale », 12-1209, janv. 2013.
- [178] M. Lavoie, N. Bier, et J. Macoir, « Utilisation des technologies pour la rééducation de l’anomie post-AVC : État des connaissances FR | Résumé », n° 2, p. 40-49, 2016.
- [179] K. Williams, K. Moffatt, D. McCall, et L. Findlater, « Designing Conversation Cues on a Head-Worn Display to Support Persons with Aphasia », in *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2015, p. 231–240.
- [180] K. Williams, K. Moffatt, J. Hong, Y. Farooqi-Shah, et L. Findlater, « The Cost of Turning Heads: A Comparison of a Head-Worn Display to a Smartphone for Supporting Persons with Aphasia in Conversation », in *Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, New York, NY, USA, 2016, p. 111–120.
- [181] H. Miller, H. Buhr, C. Johnson, et J. Hoepner, « AphasiaWeb: A Social Network for Individuals with Aphasia », in *Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, New York, NY, USA, 2013, p. 4:1–4:8.
- [182] A. Al Mahmud, « Considerations for Designing Technology with and for Persons with Aphasia », in *Proceedings of the 26th Australian Computer-Human Interaction Conference on Designing Futures: The Future of Design*, New York, NY, USA, 2014, p. 535–538.
- [183] « Éducation thérapeutique du patient Comment la proposer et la réaliser ? Juin 2007 », *Obésité*, vol. 4, n° 3, p. 219-223, déc. 2009.
- [184] A.-C. Rat, « Efficacité de l’éducation thérapeutique du patient dans les rhumatismes inflammatoires : quelles preuves ? », *Rev. Rhum. Monogr.*, vol. 80, n° 3, p. 170-173, juin 2013.
- [185] M. Rousière, « L’ETP améliore-t-elle l’observance : quel bénéfice dans l’ostéoporose ? », *Rev. Rhum. Monogr.*, vol. 80, n° 3, p. 166-169, juin 2013.
- [186] A. Perdriger et E. Michinov, « Éducation thérapeutique : de l’infantilisation à la réflexion », vol. 82, n° 3, p. 146-148, mai 2015.
- [187] M. Pot-Vaucel *et al.*, « Randomised study versus control group of customised therapeutic education for patients in follow-up for rheumatoid arthritis », *Jt. Bone Spine Rev. Rhum.*, vol. 83, n° 2, p. 199-206, mars 2016.
- [188] E. Simon, « Résultats à six mois d’ETP ostéoporose par entretiens avec les patients », présenté à 6ème journées ETP rhumato grand-est., 2017.
- [189] S. Cuendet, P. Jermann, et P. Dillenbourg, « Tangible Interfaces: When Physical-virtual Coupling May Be Detrimental to Learning », in *Proceedings of the 26th Annual BCS Interaction Specialist Group Conference on People and Computers*, Swinton, UK, UK, 2012, p. 49–58.
- [190] S. Fleck et M. Hachet, « Making Tangible the Intangible: Hybridization of the Real and the Virtual to Enhance Learning of Abstract Phenomena », *Front ICT*, vol. 2016, 2016.
- [191] S. Fleck, M. Hachet, et J. M. C. Bastien, « Marker-based Augmented Reality: Instructional-design to Improve Children Interactions with Astronomical Concepts », in *Proceedings of the 14th International Conference on Interaction Design and Children*, New York, NY, USA, 2015, p. 21–28.

- [192] B. Schneider et P. Blikstein, « Unraveling Students' Interaction Around a Tangible Interface Using Gesture Recognition », in *Proceedings of the 7th International Conference on Educational Data Mining*, 2014, p. 320-323.
- [193] O. Shaer et E. Hornecker, « Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions », *ResearchGate*, vol. 3, n° 1-2, p. 1-137, janv. 2009.
- [194] « Structuration d'un programme d'éducation thérapeutique du patient dans le champ des maladies chroniques | La documentation », 2011LI-25102016, 2007.
- [195] « OMS | Cécité et déficience visuelle », *WHO*, oct-2017. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/fr/>. [Consulté le: 08-mai-2019].
- [196] M.-S. Sander *et al.*, « Les personnes ayant un handicap visuel - Les apports de l'enquête Handicaps - Incapacités - Dépendance », 416, juill. 2005.
- [197] « Déficience visuelle : Accepter le handicap pour une meilleure intégration économique et sociale », *Media expert handicap*, 01-août-2015. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.handirect.fr/deficience-visuelle-accepter-le-handicap-pour-une-meilleure-integration-economique-et-sociale/>. [Consulté le: 08-mai-2019].
- [198] E. Brulé, G. Bailly, et A. Gentes, « Identifying the Needs of Children Living with Visual Impairment: State of the Art and French Field-study », in *Proceedings of the 27th Conference on L'Interaction Homme-Machine*, New York, NY, USA, 2015, p. 11:1–11:10.
- [199] A. Sitbon, « Déficiences visuelles et rapport à la santé, Résultats d'une étude qualitative », *INPES*, p. 47, 2012.
- [200] S. Demartin et S. Demoustier, « La place de l'accompagnement psychologique au sein de la réadaptation fonctionnelle », in *9ème Congrès de l'ARIBa « La déchirure, quand le handicap visuel s'installe »*, Lille, 2012, p. 12.
- [201] J.-M. Belorgey, *Accès aux soins des personnes en situation de handicap*. Paris: Haute Autorité de Santé, 2008, p. 8.
- [202] S. Dos Santos et Y. Makdessi, « Une approche de l'autonomie chez les adultes et les personnes âgées », Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques (DREES), 718, févr. 2010.
- [203] C. Holzschuch, C. Allaire, L. Bertholet, C. Agius, et C. Méheust, *Quand la malvoyance s'installe. Guide pratique à l'usage des adultes et de leur entourage*. Saint-Denis: INPES, 2012.
- [204] A. Tanaka et A. Parkinson, « Haptic Wave: A Cross-Modal Interface for Visually Impaired Audio Producers », in *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2016, p. 2150–2161.
- [205] A. J. Spiers et A. M. Dollar, « Outdoor pedestrian navigation assistance with a shape-changing haptic interface and comparison with a vibrotactile device », in *2016 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*, Philadelphia, USA, 2016, p. 34-40.
- [206] D. Jain, « Path-guided Indoor Navigation for the Visually Impaired Using Minimal Building Retrofitting », in *Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility*, New York, NY, USA, 2014, p. 225–232.
- [207] A. M. Brock, S. Kammoun, M. J.-M. Macé, et C. Jouffrais, « Using wrist vibrations to guide hand movement and whole body navigation », *-Com*, vol. 13, n° 3, p. 19–28, 2014.
- [208] B. Sucu et E. Folmer, « The Blind Driver Challenge: Steering Using Haptic Cues », in *Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility*, New York, NY, USA, 2014, p. 3–10.
- [209] S. Swaminathan, T. Roumen, R. Kovacs, D. Stangl, S. Mueller, et P. Baudisch, « Linespace: A Sensemaking Platform for the Blind », in *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2016, p. 2175–2185.
- [210] J. Ducasse, M. J.-M. Macé, M. Serrano, et C. Jouffrais, « Tangible Reels: Construction and Exploration of Tangible Maps by Visually Impaired Users », in *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2016, p. 2186–2197.
- [211] S. F. Flores et D. Archambault, « Multimodal Interface for Working with Algebra: Interaction between the Sighted and the Non Sighted », in *Computers Helping People with Special Needs*, 2014, p. 606-613.
- [212] H. N. Kim, « Haptic User Interface Design for Students with Visual Impairments », in *Proceedings of the 11th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, New York, NY, USA, 2009, p. 267–268.
- [213] C. de Tychey et J. Lighezzolo, « L'évaluation de la résilience : quels critères diagnostiques envisager ? », *Perspect. Psy*, vol. Vol. 43, n° 3, p. 226-233, 2004.
- [214] C. Connors et K. Stalker, « Children's experiences of disability: pointers to a social model of childhood disability », *Disabil. Soc.*, vol. 22, n° 1, p. 19-33, janv. 2007.
- [215] A. I. Regragui, « La technologie et l'insertion sociale », in *1er Colloque Marocain « Neurosciences et Handicap »*, Rabat, Maroc, 2004, p. 7.

Bibliographie

- [216] S. W. Brose *et al.*, « The role of assistive robotics in the lives of persons with disability », *Am. J. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 89, n° 6, p. 509-521, juin 2010.
- [217] H. Mori et S. Kotani, « A Robotic Travel Aid for the Blind », in *Robotics Research*, 1998, p. 237-245.
- [218] V. Kulyukin, C. Gharpure, J. Nicholson, et G. Osborne, « Robot-assisted wayfinding for the visually impaired in structured indoor environments », *Auton. Robots*, vol. 21, n° 1, p. 29-41, août 2006.
- [219] G. Galatas, C. McMurrough, G. L. Mariottini, et F. Makedon, « eyeDog: An Assistive-guide Robot for the Visually Impaired », in *Proceedings of the 4th International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments*, New York, NY, USA, 2011, p. 58:1–58:8.
- [220] M. Avila, M. Funk, et N. Henze, « DroneNavigator: Using Drones for Navigating Visually Impaired Persons », in *Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility*, New York, NY, USA, 2015, p. 327–328.
- [221] G. Garcia et A. Nahapetian, « Wearable Computing for Image-based Indoor Navigation of the Visually Impaired », in *Proceedings of the Conference on Wireless Health*, New York, NY, USA, 2015, p. 17:1–17:6.
- [222] S. Al-Khalifa et M. Al-Razgan, « Ebsar: Indoor guidance for the visually impaired », *Comput. Electr. Eng.*, vol. 54, p. 26-39, août 2016.
- [223] V. Vechev, A. Dancu, S. T. Perrault, Q. Roy, M. Fjeld, et S. Zhao, « MoveSpace: On-body athletic interaction for running and cycling », in *Proceedings of the Workshop on Advanced Visual Interfaces (AVI 2018)*, 2018, p. a28.
- [224] A. Rapp et L. Tirabeni, « Personal Informatics for Sport: Meaning, Body, and Social Relations in Amateur and Elite Athletes », *ACM Trans Comput-Hum Interact*, vol. 25, n° 3, p. 16:1–16:30, juin 2018.
- [225] K. Rector, C. L. Bennett, et J. A. Kientz, « Eyes-free Yoga: An Exergame Using Depth Cameras for Blind & Low Vision Exercise », in *Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, New York, NY, USA, 2013, p. 12:1–12:8.
- [226] A. Muehlbradt, V. Koushik, et S. K. Kane, « Goby: A Wearable Swimming Aid for Blind Athletes », in *Proceedings of the 19th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, New York, NY, USA, 2017, p. 377–378.
- [227] K. M. Scheib et P. E. Ponchillia, « The Aqualert II: An End-of-Lane Signaling Device for Swimmers Who Are Visually Impaired », *RE:view*, vol. 31, n° 1, p. 32-39, 1999.
- [228] F. Mueller, E. Graether, et C. Toprak, « Joggobot: Jogging with a Flying Robot », in *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2013, p. 2845–2846.
- [229] E. Folmer, « Exploring the Use of an Aerial Robot to Guide Blind Runners », *SIGACCESS Access Comput*, n° 112, p. 3–7, juill. 2015.
- [230] A. Caissy, A. Raby-Ménard, et N. Chartrand, « Guider en courant ». Association sportive des aveugles du Québec.

Bibliographie

Liste des publications

Politique de publication en IHM

Dans le domaine de l'IHM, la politique n'est pas de publier massivement dans des revues. Les publications dans des conférences sont massivement privilégiées et ont un impact aussi important que des revues, même si les publications dans les revues sont encouragées. En caricaturant un peu, une étude en IHM commence souvent par une étude exploratoire pour s'appropriier le contexte utilisateur, puis se poursuit par les propositions et se termine par un série de tests avec les utilisateurs. Publier dans une revue en IHM prend énormément de temps, ce qui ne permet pas de valoriser rapidement les résultats.

Revue d'audience internationale avec comité de sélection : 4

- IP1. Adam Bujnowski, Martin Benoit, Mariusz Kaczmarek, Piotr Przystup, Jacek Rumiński, Isabelle Pecci. 2015. Active and Dynamic Graphical Code for Object Identification in Healthcare, 5(8), 1631-1639. American Scientific Publishers <https://doi.org/10.1166/jmihi.2015.1625>
- IP2. Pierre Pino, Eduardo Naves, Guy Bourhis, Benoît Martin et Isabelle Pecci. 2014. A Development Platform for the Demonstrator Generation for Research on AAC. AMSE JOURNALS-AMSE IFRATH Publication –2014-Series: Modelling C, Vol. 75 Special Handicap, 209-221.
- IP3. Thomas Pietrzak, Andrew Crossan, Stephen A. Brewster, Benoit Martin, and Isabelle Pecci. 2009. Creating Usable Pin Array Tactons for Non-Visual Information. Dans IEEE Transactions on Haptics, 2(2), 61-72. <http://www2.computer.org/portal/web/csdl/doi/10.1109/TOH.2009.6>
- IP4. Kamel Chelghoum, Maurice Margenstern, Benoît Martin et Isabelle Pecci. 2004. Initialising Cellular Automata in the Hyperbolic Plane. IEICE Transactions on Information and Systems, Special Section on cellular automata, vol. E87-D, n°3, March, 677-686.

Revue d'audience nationale avec comité de lecture: 4

- IP5. Thomas Pietrzak, Benoît Martin et Isabelle Pecci. 2009. Étude et tests d'une application haptique multimodale pour enfants déficients visuels. Sciences et Technologies pour le Handicap, Lavoisier, 2009, 3 (1), 37-62. <<http://sth.revuesonline.com/article.jsp?articleId=14303>>. <10.3166/sth.3.37-62>. <hal-00671461>
- IP6. Benoît Martin et Isabelle Pecci. 2007. État de l'art des claviers physiques et logiciels pour la saisie de texte. Revue d'Interaction Homme-Machine (RIHM), n°2, 147-205.
- IP7. Erwan Malik, Benoît Martin, Isabelle Pecci et Robin Vivian. 2002. Étude exploratoire d'un dispositif haptique pour enfants déficients visuels. Revue d'Interaction Homme-Machine (RIHM), vol. 3, n°2, 55-74.
- IP8. Frédéric Danesi, Yvon Gardan, Benoît Martin et Isabelle Stémar. 1999. La conception 3D par esquisses. Revue Internationale de CFAO et d'informatique graphique, éditions Hermès, France, Paris, vol. 15, n°1, 75-86.

Ouvrages scientifiques (ou chapitres): 1

- IP9. Yvon Gardan, Isabelle Pecci, Benoît Martin et Michel Lucas. 2000. Les Logiciels Graphiques de Base. Techniques de l'Ingénieur, n° H 3 148, 29 pages.

Conférences et colloques d'audience internationale avec actes et comité de sélection : 24

- IP10. Ilyasse Belkacem, Anthony Faiola, Mary Bloddworth, Isabelle Pecci, Benoît Martin. Investigating a Design Space for Developing design thinking in Electronic Healthcare Records. 22nd International Conference, HCI International 2020, Copenhagen, Denmark, July 19-24, 2020, **accepté**.
- IP11. Ilyasse Belkacem, Isabelle Pecci, Benoît Martin. Pointing task on smart glasses: Comparison of touchless techniques. 22nd International Conference, HCI International 2020, Copenhagen, Denmark, July 19-24, 2020, **accepté**.
- IP12. Ilyasse Belkacem, Isabelle Pecci, Benoît Martin, Anthony Faiola. TEXTile: Eyes-Free Text Input on Smart Glasses Using Touch Enabled Textile on the Forearm. INTERACT (2) 2019: 351-371, https://doi.org/10.1007/978-3-030-29384-0_22.
- IP13. Imed Kacem, Ilyes Kadri, Benoît Martin et Isabelle Pecci. 2019. 2-Dimensional packing algorithms on a variable-size rectangular interface. 6th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT'19), Paris, France, April 23-26 2019, IEEE Conference Publications, 5 pages, **accepté**.
- IP14. Anthony Faiola, Ilyasse Belkacem, Dani Bergey, Isabelle Pecci, & Benoît Martin. 2019. Towards the Design of a Smart Glasses Application for MICU Decision-Support: Assessing the Human Factors Impact of Data Portability

- and Accessibility. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics in Health Care, Chicago, IL, 5 pages, March 2019, **accepté**.
- IP15. Anthony Faiola, Ilyasse Belkacem, Mary Bloodworth, Dani Bergey, Isabelle Pecci, and Benoît Martin. 2019. Anthony Faiola, Ilyasse Belkacem, Dani Bergey, Isabelle Pecci, , & Benoît Martin. 2019. "Towards the Design of a Smart Glasses Application for MICU Decision-Support: Assessing the Human Factors Impact of Data Portability & Accessibility." *Proceedings of the International Symposium on Human Factors and Ergonomics in Health Care 8*, no. 1 (September 2019): 52–56. doi:10.1177/2327857919081012.
- IP16. Ilyasse Belkacem, Isabelle Pecci et Benoît Martin. 2016. Smart Glasses: A semantic fisheye view on tiled user interfaces, Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS'16), Gdansk, Poland, 11-14 September 2016, IEEE Conference Publications, 1405-1408.
- IP17. Isabelle Pecci, Benoît Martin, Imed Kacem et Imed Maamria, Sébastien Faye, Nicolas Louveton, Gabriela Gheorghe, Thomas Engel. Not a Tile Out of Place: Toward Creating Context-Dependent User Interfaces on Smartglasses, 9th International Conference on Human System Interactions (HSI), Portsmouth, UK, 6-8 July 2016, IEEE Conference Publications, pp. 497-503, 2016
- IP18. Alicja Kwasniewska, Joanna Klimiuk-Myszk, Jacek Ruminski, Jérôme Forrier, Benoît Martin et Isabelle Pecci. 2015. Quality of graphical markers for the needs of eyewear devices, 8th International Conference on Human System Interactions (HSI), Warswa, Poland, 25-27 June 2015, IEEE Conference Publications, 388 – 395.
- IP19. Nathan Godard, Isabelle Pecci, and Poïka Isokoski. 2013. WeSlide : Gestural Text Entry for Elderly Users of Interactive Television. 11th edition of the European Interactive TV Conference, EuroITV 2013, Milan, Italy, ACM Press, June 24-26.
- IP20. Thomas Pietrzak, Andrew Crossan, Stephen. A. Brewster, Benoît Martin, and Isabelle Pecci. 2009. Exploring Geometric Shapes with Touch. In: Gross T. et al. (eds) Human-Computer Interaction – INTERACT 2009. INTERACT 2009. Lecture Notes in Computer Science, vol 5726. Springer, Berlin, Heidelberg, https://doi.org/10.1007/978-3-642-03655-2_18
- IP21. Thomas Pietrzak, Benoît Martin, Isabelle Pecci, Rami Saarinen, Roope Raisamo, and Janne Järvi. 2007. The MICOLE architecture: multimodal support for inclusion of visually impaired children. In Proceedings of the 9th international conference on Multimodal interfaces (ICMI '07). ACM, New York, NY, USA, 193-200. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1322192.1322227>
- IP22. Benoît Martin, Isabelle Pecci, and Thomas Pietrzak. 2007. Angle Recognition Cues using a new API dedicated to the VTPlayer Mouse. HuMaN'07 (Human Machine iInteraction Conference), Conférence Internationale sur l'Interaction Homme-Machine, March 12-14, TIMIMOUN, Algerian Sahara, 119-126.
- IP23. Thomas Pietrzak, Isabelle Pecci, and Benoît Martin. 2006. Static and dynamic tactile directional cues experiments with VTPlayer mouse. EuroHaptics 2006, Paris, France, July 3-6, 63-68.
- IP24. Thomas Pietrzak, Benoît Martin, and Isabelle Pecci. 2005. Information display by dragged haptic bumps. 2nd International Conference on Enactive Interfaces (ENACTIVE 05), Genoa, Italy, November 17-18, 4 pages, published on CD-ROM.
- IP25. Kamel Chelghoum, Maurice Margenstern, Benoît Martin, Isabelle Pecci, and G. Skordev. 2004. Tilings {p,q} of the hyperbolic plane are combinatoric. Workshop on Tilings and Cellular Automata of the DLT'04 conference (WTCA'2004), Auckland, New-Zealand, December, CDMTCS-253, 48-64.
- IP26. Kamel Chelghoum, Maurice Margenstern, Benoît Martin, and Isabelle Pecci. 2004. Cellular automata in the hyperbolic plane: proposal for a new environment. Lecture Notes in Computer Science, 6th International Conference on Cellular Automata for Research and Industry (ACRI 2004), Amsterdam, The Netherlands, October 25-28, 678-687.
- IP27. Kamel Chelghoum, Maurice Margenstern, Benoît Martin, and Isabelle Pecci. 2004. Tools for implementing cellular automata in grid {7,3} of the hyperbolic plane. DMCS, workshop under ICALP'04, Turku, Finland, July, 678-687.
- IP28. Kamel Chelghoum, Maurice Margenstern, Benoît Martin, and Isabelle Pecci. 2003. Locating Points in the Pentagonal Rectangular Tiling of the Hyperbolic Plane. 7th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, SCI'2003, Orlando, Florida, July 27-30, vol. V, 25-30.
- IP29. Benoît Martin, Isabelle Pecci, and Robin Vivian. 2002. Haptic Feedback to Help Geometry Learning for Visually Impaired Child. 1st International Workshop on Virtual Reality Rehabilitation, (VRMHR 2002), Lausanne, Suisse, 7-8 November, 233-248.
- IP30. Benoît Martin, Isabelle Pecci, and Yvon Gardan. 1999. Making selection process more efficient in CAD. IASTED International Conference, COMPUTER GRAPHICS AND IMAGING, Palm Springs, California, USA, 25-27 October, 245-250.

- IP31. Yvon Gardan, Jean-Pierre Jung, Yvon Lanuel, Sandrine Leinen, Benoît Martin, Christian Minich, Estelle Perrin, Catherine Poinson, Myriame Sahnoune, Frédéric Schutz, and Isabelle Stémart. 1997. A proposal for constraints and features modelling, ISATA Proceedings on the Mechatronics/Automotive Electronics, Italie, Florence, Juin, 321-331.
- IP32. Yvon Gardan, Jean-Pierre Jung, Yvon Lanuel, Sandrine Leinen, Benoît Martin, Christian Minich, Estelle Perrin, Catherine Poinson, and Isabelle Stémart. 1997. Towards adaptable product development, ICMA'97, Chine, Hong Kong, Avril.
- IP33. Yvon Gardan, Benoît Martin, and Isabelle Stémart. 1996. Behaviors : from man-machine interface to design for manufacturing. CESA'96 IMACS Multiconference, Computational Engineering in Systems Applications, symposium on Discrete Events and Manufacturing Systems, IEEE-SMC, P. Borne, J. C. Gentina, E. Crayé and S. El Khattabi editors, France, Lille, 9-12 July, 530-535.

Conférences et colloques d'audience nationale avec actes et comité de sélection : 10

- IP34. Ilyasse Belkacem, Isabelle Pecci, Benoît Martin. 2017. Exploring a design space for electronic health record visualization. In Proceedings of the 29th Conference on l'Interaction Homme-Machine (IHM '17). ACM, New York, NY, USA, 325-334. DOI: <https://doi.org/10.1145/3132129.3132165>.
- IP35. Pierre Pino, Eduardo Naves, Guy Bourhis, Benoît Martin, Isabelle Pecci. 2014. EDiTH2 : une plateforme de développement pour la génération de démonstrateurs pour des recherches sur les AAC, Handicap 2014, 8^{ème} édition, Paris, 11-13 juin 2014, 6 pages.
- IP36. Alexandre Oberst, Guillaume Laas, and Isabelle Pecci. 2010. WeGliss, clavier pour la télévision interactive. In Conference Internationale Francophone sur l'Interaction Homme-Machine (IHM '10). ACM Press, Luxembourg, September 20-23, 221-224.
- IP37. Thomas Pietrzak, Andrew Crossan, Stephen A. Brewster, Benoît Martin, and Isabelle Pecci. 2009. Exploration de formes géométriques grâce au toucher. 21th French-speaking conference on Human-computer interaction (IHM 2009), Grenoble, France, ACM Press, 251-254.
- IP38. Thomas Pietrzak, Isabelle Pecci, and Benoît Martin. 2007. Un logiciel d'exploration de schémas de circuits électriques basé sur l'API MICOLE. 19th French-speaking conference on Human-computer interaction (IHM 2007), IRCAM, Paris, France, November 13-15, ACM Press, presented as demonstration, 2007.
- IP39. Thomas Pietrzak, Benoît Martin, and Isabelle Pecci. 2005. Affichage d'informations par des impulsions haptiques. 17th French-speaking conference of human-computer interaction (IHM 2005), Toulouse, France, September, ACM Press, 223-226.
- IP40. Kamel Chelghoum, M. Margenstern, Benoît Martin, and Isabelle Pecci. 2004. Palette hyperbolique : un outil pour interagir avec des ensembles de données. 16th French-speaking conference of human computer interaction (IHM 2004), Namur, Belgique, 30 Août - 3 Septembre, 195-198.
- IP41. Erwan Malik, Benoît Martin, Isabelle Pecci, and Robin Vivian. 2001. Le retour de force : une aide à l'apprentissage des mathématiques pour les déficients visuels ?, JIM'2001, Metz, 4-6 Juillet, 126-135.
- IP42. Frédéric Danesi, Benoît Martin, and Isabelle Pecci. 2000. L'esquisse : définition et utilisation en conception 3D. 2000. 1^{ères} Rencontres Jeunes Chercheurs en Interaction Homme-Machine (RJC-IHM'2000), organisées sous le patronage de l'AFIHM, Ile de Berder, Golfe du Morbihan, France, 3-5 Mai, 23-26.
- IP43. Yvon Gardan, Benoît Martin, and Isabelle Stémart. 1996. Utilisation des connaissances du modèle en CFAO : application à la génération du dialogue. MICAD'96, actes dans la Revue Internationale de CFAO et d'informatique graphique, éditions Hermès, France, Paris, 13-15 Février, vol. 11, n°1-2, 71-89.

Invitations à séminaire : 3

- IP44. Isabelle Pecci. 2004. Interfaces haptiques pour déficients visuels : une étude préliminaire. Unité de Recherche INRIA Rhône-Alpes, amphi F107, Saint Ismier, 10 juin 2004.
- IP45. Isabelle Pecci. 2009. Les PICOBS et les Tactons, conférence à la MATI, (Maison des technologies de formation et d'apprentissage Roland-Giguère) Montréal, Québec, 16 juin 2009.
- IP46. Isabelle Pecci. 2009. Les travaux IHM au LITA, CITÉ (Centre de recherche interdisciplinaire sur les technologies émergentes), Université de Montréal, Québec, 18 juin 2009.

Conférences et colloques d'audience nationale avec actes sans comité de sélection : 1

- IP47. Frédéric Danesi, Yvon Gardan, Benoît Martin, and Isabelle Pecci. 1999. La conception 3D par esquisses. 12^{èmes} journées de l'Association Française d'Informatique Graphique. Reims, France, 24-26 Novembre, 213-224.

Liste des publications

Communications par affiche dans un congrès national : 1

IP48. Jérôme Bier et Isabelle Pecci. 2009. WeGliss : clavier virtuel réduit pour Wiimote. 21ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, IHM'09 dans la conférence IHM 2009, Communications Informelles, Grenoble, 13-16 Octobre 2009, 4 pages, disponible à http://ihm09.imag.fr/actes_informels/Informels/02/Bier.pdf

Autre publication avec comité de lecture : 1

IP49. Thomas Pietrzak et Isabelle Pecci. 2011. Interaction haptique. Fiche DiCog, n° 020, CEN STIMCO, disponible à <http://censtimco.org/wp-content/uploads/2011/12/020.png>, 2 pages, 2011